

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Vliv utvařeče třísky na silové poměry při obrábění oceli

Effect of Chip Breakers on the Force Ratios of the Machining of Steel

Student:

Bc. Jiří Morys

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Morys**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Vliv utvařeče třísky na silové poměry při obrábění oceli**
Effect of Chip Breakers on the Force Ratios of the Machining of Steel

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Teoretický rozbor daného problému.
3. Experiment.
4. Zhodnocení a závěry.

Seznam doporučené odborné literatury:

- 1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno : Akademické nakladatelství CERM, s. r. o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrství*. Prešov : Datapress Prešov. 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. s. 343. ISBN 978-80-8070-711-8.
[4] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění*. Brno : CCB, s.r.o. Brno, 1995. 265 s. ISBN 80-85825-10-4.

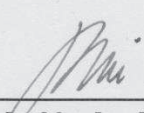
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

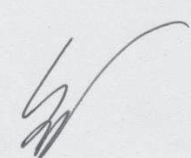
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016



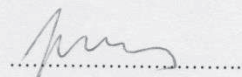

doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petřů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016.....

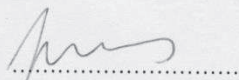


podpis studenta

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odstavec 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odstavec 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB- TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/198 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 16.5.2016.



Jméno a příjmení autora práce:

Jiří Morys

Adresa trvalého pobytu autora práce:

6. Května 11/73, Opava-Zlatníky 746 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Morys, Jiří. *Vliv utvařeče třísky na silové poměry při obrábění oceli: Diplomová práce*
Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže,
2016, 57 s. Vedoucí práce: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá vlivem utvařeče třísky na silové poměry při obrábění oceli. Při této práci byly použity vyměnitelné břitové destičky zakoupeny u firmy ISCAR. Dále jsou rozebrány metody měření složek sil, tvorba třísky a oblasti vzniku třísky.

Hlavní část této diplomové práce se zabývá rozbořem a následným vyhodnocením naměřených dat získaných při experimentu.

ANNOTATION OF THESIS

Morys, Jiří. *Effect of Chip Breakers on the Force Ratio of the Machining of Steel: Thesis*.
Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering,
Department of Machining and Assembly, 2016, 57- p. Thesis head: Ing. Jiří Kratochvíl, Ph.D.

This thesis deals Effect of chip breakers on the force ratios of the machining of steel. In this work we were used replaceable cutting plates bought at company ISCAR. There are also analyzed methods of measuring components of the forces, chip formation and the formation regions chips.

The main part of this thesis deals with the analysis and subsequent evaluation of the measured data obtained in the experiment.

Obsah

1. Řezné síly	10
1.1 Všeobecné dekompozice síly řezání.....	11
1.2 Měření složek síly řezání.....	13
1.3 Přímé měření sil a momentů.....	14
1.4 Základní rozdělení dynamometrů.....	15
1.4.1 Mechanické dynamometry.....	15
1.4.2 Hydraulické dynamometry.....	16
1.4.3 Pneumatické dynamometry.....	17
1.4.4 Elektrické dynamometry.....	17
2. Geometrie bříty nástrojů	19
3. Geometrie obráběcích nástrojů	21
3.1 Nástrojové roviny.....	21
3.2 Pracovní roviny.....	22
3.3 Nástrojové a pracovní úhly řezné geometrie.....	24
4. Tvorba třísky	26
4.1 Třísky při obrábění kovů.....	27
4.2 Teorie utváření třísek.....	27
4.3 Oblast utváření vhodných třísek.....	29
4.4 Funkce utvařeče třísky.....	30
5. Rozbor experimentu	32
5.1 Stroj.....	32
5.2 Dynamometrické zařízení.....	32
5.3 Nožový držák.....	34
5.4 Obráběný materiál.....	34
5.5 Řezný nástroj.....	34

6. Zpracování a vyhodnocení experimentu	35
6.1 Postup experimentu.....	35
6.2 Vyhodnocení experimentu.....	35
6.2.1 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-M3P.....	36
6.2.2 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-F3P.....	40
6.2.3 Vyměnitelná břitová destička CNMM 120408-R3P.....	43
6.2.4 Vyměnitelná břitová destička CNMM 120408-M4PW.....	46
6.3 Zhodnocení experimentu.....	50
7. Závěr.....	52
Použitá literatura :.....	54

Seznam použitého značení

F	Celková složka řezné síly	[N]
F_a	Aktivní složka řezné síly	[N]
F_c	Řezná složka	[N]
F_D	Dimenzionální složka řezné síly	[N]
F_e	Pracovní složka řezné síly	[N]
F_f	Posuvová složka řezné síly	[N]
F_p	Pasivní složka řezné síly	[N]
η	Úhel řezného pohybu	[°]
κ_r	Vedlejší úhel nastavení	[°]
ε_r	Úhel špičky břitů	[°]
λ_s	Úhel sklonu ostří	[°]
κ_r'	Vedlejší úhel nastavení	[°]
ψ_r	Doplňkový úhel nastavení	[°]
A_γ	Čelo nástroje	[-]
A_α	Hřbet nástroje	[-]
A_α'	Vedlejší hřbet nástroje	[-]
P_r	Nástrojová rovina základní	[-]
P_f	Nástrojová rovina boční	[-]
P_p	Nástrojová rovina zadní	[-]
P_s	Nástrojová rovina ostří	[-]
P_o	Nástrojová rovina ortogonální	[-]
P_n	Nástrojová rovina normálová	[-]
P_g	Nástrojová rovina největšího spádu čela	[-]
P_b	Nástrojová rovina největšího spádu hřbetu	[-]
P_{re}	Pracovní rovina základní	[-]
P_{fe}	Pracovní rovina boční	[-]
P_{pe}	Pracovní rovina zadní	[-]
P_{se}	Pracovní rovina ostří	[-]
P_{oe}	Pracovní rovina ortogonální	[-]
P_{ne}	Pracovní rovina normálová	[-]
P_{ge}	Pracovní rovina největšího spádu čela	[-]

P_{be}	Pracovní rovina největšího spádu hřbetu	[-]
a_p	Hloubka řezu	[mm]
v_c	Řezná rychlost	[m·min ⁻¹]
f	Posuv	[mm]

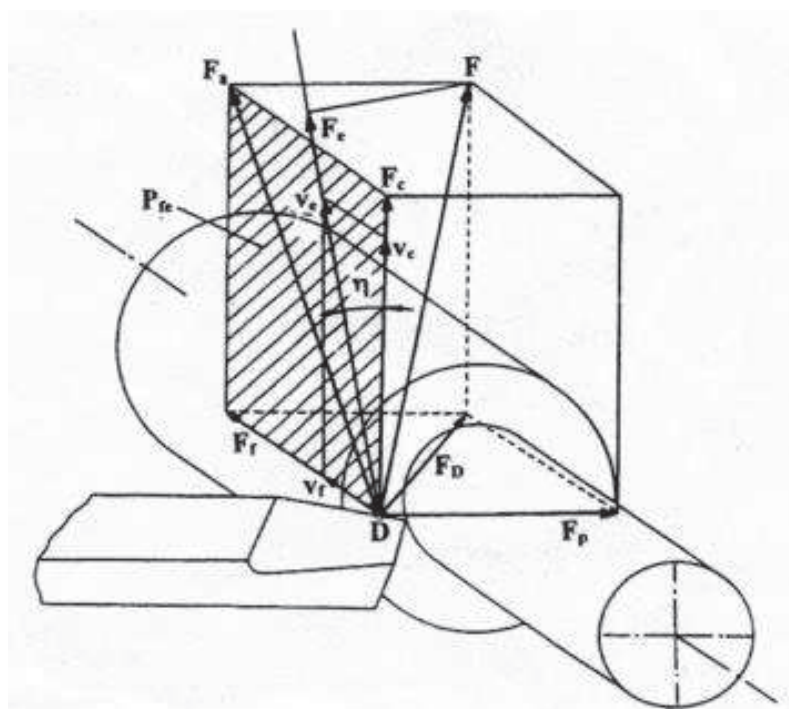
Úvod

V dnešní době je při velkosériové výrobě často využíváno bezobslužných systémů výroby. Zavádění nových technologií klade vysoké nároky nejen na stroje používané v procesu obrábění, ale i na nástroje s břitovými destičkami. Tyto bezobslužné systémy se používají hlavně pro snížení výrobních nákladů. Jako hlavní je maximální využití vyměnitelné břitové destičky při dosažení požadované drsnosti i rozměrové a geometrické přesnosti výrobku. Využití vyměnitelné břitové destičky je jedním z hlavních faktorů ovlivňující ekonomičnost výroby. Tato diplomová práce se zabývá vlivem utvařeče třísky na silové poměry při obrábění, v tomto případě, soustružení oceli. A to za použití čtyř vyměnitelných břitových destiček s různými utvařeči třísky, které byly zakoupeny u firmy ISCAR. Nejprve je popsána teorie řezných sil, kde a jaké složky sil při soustružení vznikají. Poté je popsán princip dynamometrů, které slouží pro měření těchto složek sil, pro tento experiment byl použit elektrický dynamometr zakoupen od firmy Kistler. V následujících kapitolách je popsána geometrie řezných nástrojů a jejich vliv na měření jednotlivých složek sil. Další část této diplomové práce je zaměřena na tvorbu třísky, oblasti vzniku třísky a funkci utvařečů třísky. Poslední část této práce je zaměřena na rozbor, vyhodnocení a závěrečné zhodnocení tohoto experimentu. Tato metoda je velmi jednoduchá, rychlá a v praxi snadnou použitelná.

1. Řezné síly

Řezný proces se realizuje jako interakce nástroje a obrobku ve složité silové soustavě. Identifikace a analýza této silové soustavy umožňuje optimalizaci technologických podmínek obráběcího procesu.

Při obrábění kovů je řezná hrana velkou silou vtlačována do materiálu obrobku, který je deformován tak silně, až se odděluje ve formě třísek. Výsledkem je opracovaný povrch, který musí splňovat dané kvalitativní požadavky. [3,4]



Obr. 1.1 Rozklad celkové řezné síly F při podélném soustružení D – hlavní bod ostří; F – celková složka řezné síly; F_a – aktivní složka síly; F_c – řezná složka síly; F_D – dimenzionální složka síly; F_e – pracovní složka síly; F_f – posuvová složka síly; F_p – pasivní složka síly; η – úhel řezného pohybu [4]

Řezná síla je dynamický jev, což má za následek, že v časové linii není konstantní. Řezná síla na začátku řezání roste až po určité maximum, které je charakteristické pro moment oddělení elementu třísky od základního materiálu. Následně síla poklesne, ale ne na nulovou hodnotu, protože před skončením posunutí elementu začne deformace dalšího elementu. (obr. 1.1)

Řeznou sílu můžeme vnímat ve smyslu:

a) statickém, přičemž jde o určitou střední hodnotu mezi nejmenší a největší hodnotou kolísání řezné síly,

b) dynamickém, přičemž jde o skutečný obraz velikosti řezné síly, zachycený v neustálé změně, která je pro řeznou sílu charakteristická během celého řezného procesu. [5]

1.1 Všeobecné dekompozice síly řezání

V zásadě je potřebné rozlišovat mezi celkovou silou řeznou a řezným odporem. Síla řezná F je celková síla, kterou působí nástroj na obrobek. Naopak, řezný odpor R , někdy označovaný i jako F' , je silové působení obrobku na nástroj. Celková řezná síla má všeobecný a neznámý směr, a proto ji rozkládáme do složek v různých směrech, na základě kterých je možné určit velikost a směr výsledného silového působení. Hovoříme tedy o celkové řezné síle a o složkách řezné síly. Celkovou řeznou sílu je možné rozložit v souvislosti s vícerymi aspekty hlavního a vedlejšího řezného pohybu. Kromě toho je možné využít znalost o velikosti v oblasti primární plastické deformace. Můžeme řeznou sílu rozložit podle (obr. 1.1) Dynamometry různé konstrukce, založené na různých principech umožňují určit velikost složek řezné síly F_c , F_p a F_f . Na jejich základě je možné určit nejen velikost výsledné síly F , ale i směr. [5]

Mezi celkovou silou a její složkami platí vztah:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \text{ [N]} \quad [5]$$

Posuvová (axiální) složka řezné síly F_f působí ve směru osy obrobku anebo nástroje. Je kolmá na směr tangenciální i radiální složky a využívá se na dimenzování posuvových mechanismů.

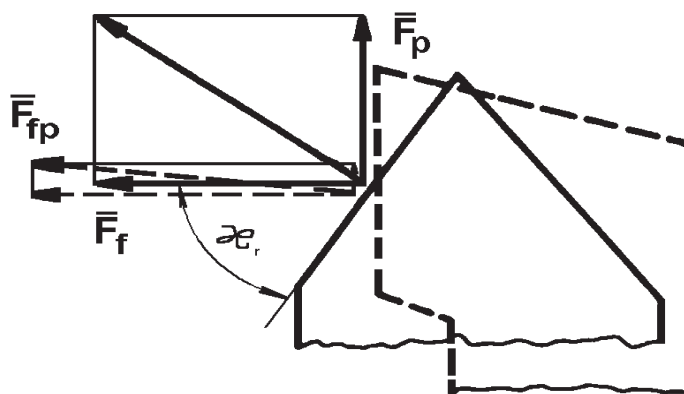
Pasivní složka řezné síly F_p působí radiálně ve směru kolmém k obráběné ploše. Obvykle je funkcí přísluvu anebo specifického tlaku, kterým je přitlačený nástroj k obrobku. Výrazně ovlivňuje především rozměrovou přesnost obráběných ploch, odchylky geometrického tvaru, polohy a drsnost povrchu. Slouží na určení tuhosti obráběcího stroje a všeobecně na analýzu dynamického chování.

Řezná složka řezné síly F_c působí ve směru hlavního řezného pohybu, proto se také nazývá hlavní řezná síla. Při rotačních pohybech určuje velikost kroutícího momentu, působícího na obrobek anebo nástroj. Určuje potřebný výkon elektromotoru, jakož i celkového množství tepla, které se v zóně řezání vytvoří.

Velikost složek řezné síly závisí převážně na řezných parametrech (v_c , a_p , f), dále na geometrii nástroje, řezném prostředí, obráběném materiálu, řezném materiálu, atd.

Také vliv úhlu nastavení na rozložení síly soustružení má značný vliv. Platí to rovněž o poloměru zaoblení ostří a podobně. Úhel sklonu ostří λ_s působí na směr odcházející třísky, čímž také ovlivňuje velikost deformační práce i práci vzniklou třením. Jelikož ovlivňuje jako úhel nastavení hlavního ostří κ_r směr vektoru síly soustružení F , není jeho vliv na velikost jednotlivých složek stejný. Úhel hřbetu taktéž ovlivňuje velikost řezné složky síly soustružení (obr. 1.2). Vliv na složku F_c lze posoudit z jeho vlivu na měrný řezný odpor. Konečně poloměr špičky břitů ϵ_r řezného nástroje má na velikost síly obrábění a její složky vliv, který je zpravidla protichůdný vlivu κ_r . Silně na složky F_c a F_f působí zejména řezné prostředí.

Zvyšováním řezné rychlosti v_c se složky řezné síly zmenšují. Zvětšováním úhlu nastavení κ_r se síla F_f zmenšuje. Síla F_c se zmenšuje, ale jen po $\kappa_r = 45^\circ$. Při větším úhlu nastavení se F_c zvětšuje. [5]



Obr. 1.2 Vliv úhlu nastavení κ_r na pasivní složku F_p a posuvovou složku F_f [1]

V obrábění se užívají k vyjadřování celkových řezných síl nebo jejich složek empirické vztahy, které mají tvar:

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{X_{Fc}} \cdot f^{Y_{Fc}} \cdot v^{Z_{Fc}} \quad [\text{N}] \quad [4]$$

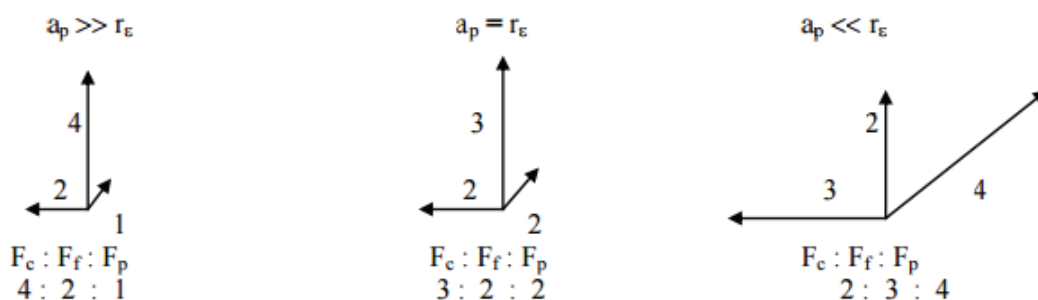
$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{X_{Ff}} \cdot f^{Y_{Ff}} \cdot v^{Z_{Ff}} \quad [\text{N}] \quad [4]$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \cdot v^{z_{Fp}} \quad [N] \quad [4]$$

Konstanty C_{Fc} , C_{Fp} , C_{Ff} a exponenty x_{Fc} , x_{Fp} , x_{Ff} , y_{Fc} , y_{Fp} , y_{Ff} , z_{Fc} , z_{Fp} , z_{Ff} , jsou pro dané podmínky řezného procesu empiricky stanovené. [4]

Řezné síly jsou ovlivněny zejména materiálem obrobku, geometrií nástroje a použitelnými řeznými podmínkami. Čím je tvrdost materiálu obrobku větší (tvrdost = odolnost vůči deformaci), tím vyšší jsou řezné síly. Čím je řezná hrana nástroje ostřejší, tím budou řezné síly nižší. Důležitou roli řezné hrany hraje úhel čela. Více pozitivní úhel čela (ostřejší řezná hrana) sníží řezné síly, ale příliš ostrá hrana (pozitivní úhel čela) představuje také křehkou (snadno vylomitelnou) řeznou hranu. [3]

V žádném případě nemůžeme zanedbat poloměr zaoblení řezné špičky, protože má vliv na rozložení složek celkové řezné síly podle (obr. 1.3).



Obr. 1.3 Závislost zaoblení špičky r_ϵ na velikosti hloubky řezu a_p [3]

1.2 Měření složek síly řezání

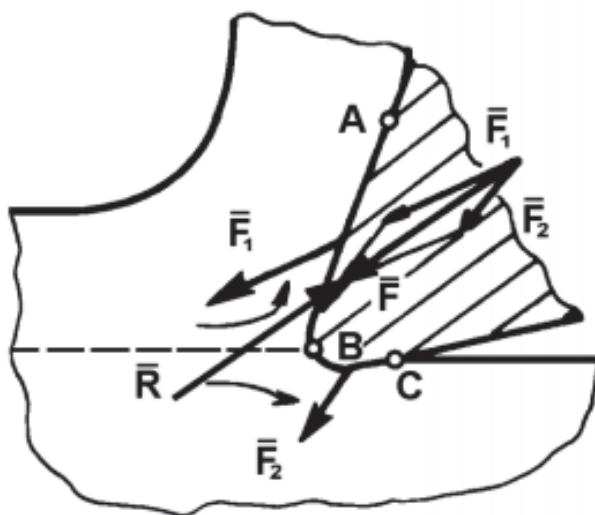
Zkoumání mechanismu tvorby třísky prokázalo, že při vnikání řezného klínu do materiálu obrobku vzniká v obráběném materiálu stav napjatosti, který způsobuje v mezní situaci jeho dělení. Tento proces dělení materiálu doprovází větší anebo menší plastické, ale i elastické deformace. Kromě deformačních jevů se při tomto procesu prosazují i poměry silové.

Pokud budeme znát silové poměry procesu řezání, potom se nám podaří získat přehled o mechanickém namáhání soustavy, jak z hlediska pevnosti, tak i její tuhosti včetně dynamické stability řezného procesu.

Dále je možné získat podklady pro určení příkonu obráběcího stroje, zajištění energetické účinnosti řezného procesu i posuzování jeho tepelných jevů. Pro hodnocení a posuzování těchto tepelných jevů při procesu řezání, pro hodnocení trvanlivosti řezného

nástroje, respektive jeho životnosti, ale také pro posouzení podmínek přesnosti, jakož i celkové ekonomické bilance třískového obrábění. [5]

Zvláště významnou veličinou tohoto procesu je síla obrábění (řezání), kterou je nutno brát jako veličinu časově proměnnou. Stav napjatosti v obráběném materiálu způsobuje řezný odpor R , který síla řezání (obrábění) musí při řezném procesu neustále překonávat (obr. 1.4).



Obr. 1.4 Síla řezání (obrábění) a její rozklad při soustružení [1]

1.3 Přímé měření sil a momentů

Přímé měření složek síly řezání a jejich točivých momentů je založeno na měření deformací v soustavě stroj – nástroj – obrobek během obrábění prostřednictvím dynamometrů. Dynamometr je měřicí přístroj, a tudíž musí zaručit nezávislost měřicí veličiny na provozních vlastnostech přístroje. Dále se od něj požaduje schopnost měřit sledovanou veličinu ve zvoleném rozsahu s maximální přesností, musí zaručit stálost naměřených hodnot s časem včetně její reprodukovatelnosti. Z těchto uvedených charakteristik plynou základní požadavky kladené na dynamometry:

1. Tuhost dynamometrů je závislá na velikosti zatěžující síly F , která způsobuje deformaci y . Velikost deformace závisí na provedení a tvaru deformačního elementu – čidla, na celkovém konstrukčním provedení dynamometru a na použité měřicí metodě. Dostatečná tuhost dynamometru je důležitá při měření dynamickém.

2. Citlivost dynamometrů závisí na citlivosti použité měřicí metody a na tuhosti konstrukčního provedení dynamometru. Dynamometr musí mít takovou citlivost, že nejmenší odečítaná jednotka při dodržení dostatečné přesnosti odečítaná odpovídala celkové hodnotě měřené veličiny.

3. Stálost údajů dynamometrů je odvozená od tuhosti, citlivosti a přesnosti od stanovení nulové polohy až po zachycení údajů o sledované veličině, a to po celou dobu měření.

4. Reprodukovatelnost údajů dynamometrů je úzce spjata s výše zmiňovanými charakteristikami.

5. Setrvačnost dynamometrů závisí přímo úměrně na hmotnosti soustavy. Zejména při dynamických měřeních, kdy je nesmírně nutné sledovat jak skutečné hodnoty maximálních a minimálních hodnot měřené síly řezání, tak i její časový průběh, by měla být setrvačnost co možná nejmenší.

6. Konstrukce dynamometrů musí zajistit, aby se složky řezné síly vzájemně neovlivňovaly. [1]

1.4 Základní rozdělení dynamometrů

Následující hlediska rozdělení dynamometrů:

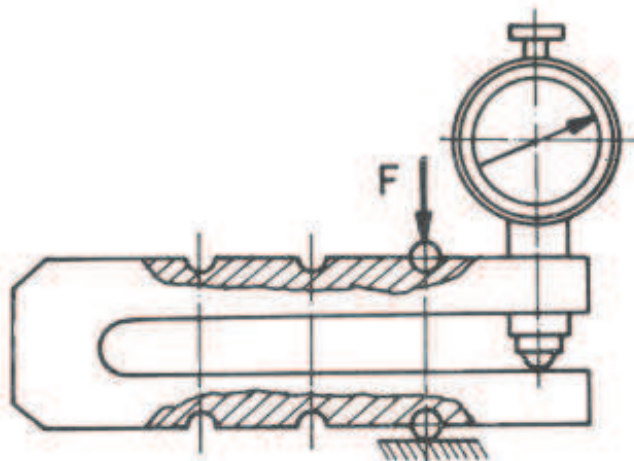
1. Podle počtu měřených složek síly řezání jsou dynamometry: jednosložkové, dvousložkové, třísložkové a pro měření točivých (krouticích) momentů.

2. Podle metody, která je aplikovaná k přenosu působení sil z deformačního členu na indikační: v tomto případě se jedná o dynamometry mechanické, pneumatické, elektrické, hydraulické (indukční, kapacitní, odporové, využívající piezoelektrického jevu) a optické.

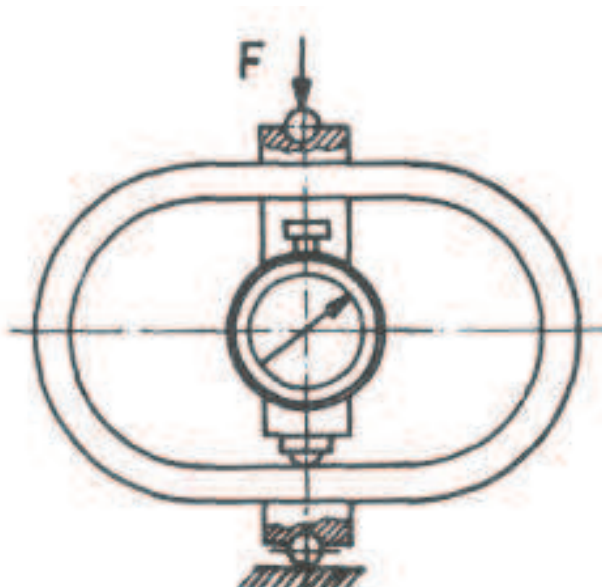
3. Podle metody obrábění to jsou dynamometry pro soustružení, vrtání, frézování, broušení atd., případně dynamometry univerzální. [8]

1.4.1 Mechanické dynamometry

Nejčastěji se používají mechanické dynamometry pro cejchování zbývajících druhů dynamometrů, protože u nich lze většinou vyloučit nežádoucí rušivé vlivy. U mechanických dynamometrů se působení síly přenáší přímo nebo znásobeně mechanickým převodem na měřicí prvek, jako je například číselníkový úchylkoměr. O velikosti síly se usuzuje z deformace silových pružin, kroužků, třmenů, nosníků, membrán, případně podle hloubky vtlačení kuličky do materiálu o známé tvrdosti. Hlavním představitelem této skupiny dynamometrů jsou dynamometry třmenové (obr. 1.5). Pro zatížení až do 10 000 N a dynamometry kruhové nebo také prstencové (obr. 1.6). [8]



Obr. 1.5 Mechanický dynamometr třmenový [8]



Obr. 1.6 Mechanický dynamometr prstencový [8]

1.4.2 Hydraulické dynamometry

Základem hydraulických dynamometrů je přenos měření síly nebo momentu na píst nebo membránu hydraulického obvodu, a tento pohyb způsobuje změnu tlaku v kapalině. Tato změna tlaku je potom snímána pomocí manometru, nebo jiným přístrojem. Tyto dynamometry jsou jednoduché konstrukce a mají možnost snadného měření více složek současně. Nevýhodou je naopak nízká citlivost, požadavky na dokonalé utěsnění systému a velká setrvačnost. Z tohoto důvodu se nedoporučují použít pro dynamická měření. V dnešní době se používají spíše výjimečně. [8]

1.4.3 Pneumatické dynamometry

Podstatou pneumatických dynamometrů je snímač deformace pneumatickým systémem klapka – tryska, který využívá dynamických vlastností vzduchu procházejícího štěrbinou. Jsou principiálně založeny na měření změny tlaku nebo průtoku v závislosti na změně výtokového průřezu mezi klapkou a tryskou v deformačním elementu. Předností je snadná obsluha a údržba, vysoká spolehlivost a citlivost v porovnání s elektrickými způsoby a relativně nízké náklady na pořízení a provoz. [8]

1.4.4 Elektrické dynamometry

Patří mezi nejrozšířenější a nejvíce používané dynamometry v technické praxi. (obr. 1.7) Mezi základní přednosti elektrických dynamometrů patří:

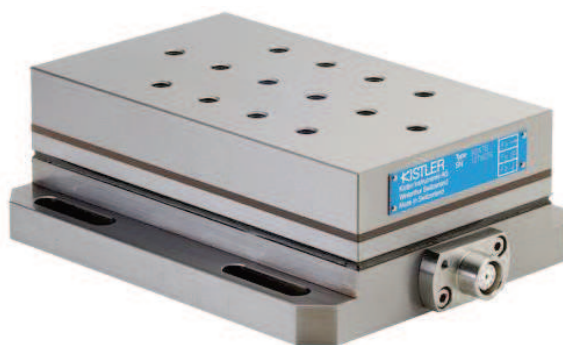
- a) využití miniaturních měřicích elementů,
- b) snadný přenos dálkového signálu s celou řadou možných úprav,
- c) možnost vhodné registrace zachycených signálů různých průběhů a frekvencí,
- d) možnost snímání signálu při rotujících a pohybujících se součástech,
- e) snadná dostupnost napájecích zdrojů a čistota provozu.

Podle způsobu mechanicko-elektrické transformace je možné rozlišovat dva základní systémy elektrických dynamometrů:

1. Parametrický systém- tento systém je založen na změně jednoho ze tří parametrů obvodu – indukčnosti L , kapacity C a odporu R .
2. Generátorový systém- tento systém je založen na vzniku proudu nebo napětí při deformaci elementu. Základem pro změnu může být i piezoelektrický jev. [1]



a) pro soustružení



b) pro broušení



c) pro frézování



d) pro vrtání

Obr. 1.7 Dynamometry KISTLER pro měření složek řezné síly [2]

2. Geometrie břítu nástrojů

Aktivním prvkem procesu řezání je obráběcí nástroj. Uskutečňuje řezání tím, že svou pracovní částí tj. břitem vniká do materiálu obrobku a odděluje z něho postupně částice ve tvaru třísky. Řezný nástroj se skládá z těla, respektive tělesa nástroje a břitu.

Pro obrábění je velice důležitý tvar břitu (řezné části) a jeho geometrie. Ovlivňuje nám totiž velikosti řezných sil, přesnost obrábění, trvanlivost nástroje a také kvalitu povrchu.

Nástroje se dělí: - nástroje s definovanou geometrií břitu (soustružnický nůž)

- nástroje s nedefinovanou geometrií břitu (brusný kotouč).

Soustružnický nůž spadá do kategorie s definovatelnou geometrií břitu. Proto je možno soustružnický nůž popsat úhly. Úhel je definován velikostí a rovinou. [6, 7]

Řezná část - je funkční část nástroje, která obsahuje prvky tvořící třísku (viz obr. 2.1, označeno 3). Patří sem zejména ostří, čelo a hřbet. V případě vícebřitého (vícezubého) nástroje má každý břit (zub) svou řeznou část.

Břit - je prvek řezné části nástroje ohraničený čelem a hřbetem. Je to klínovitá část nástroje vnikající do obrobku. Plochy tvořící tento klín zobrazuje (obr. 2.1).

Upínací část (stopka) - je část nástroje, která slouží k upínání do obráběcího stroje (viz obr. 2.1, označeno 1).

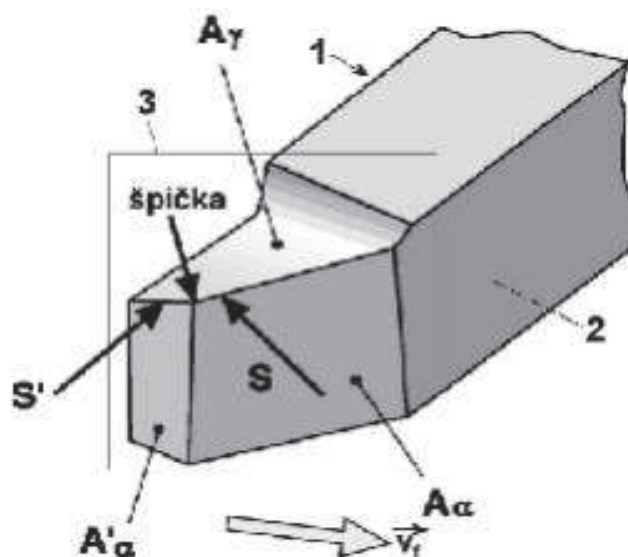
Základna - je plochý prvek stopky nástroje sloužící pro umístění a orientaci nástroje při výrobě, kontrole a ostření. Ne všechny nástroje mají jednoznačně určenou základnu (viz obr. 2.1, označeno 2).

Plochy na nástroji - se označují symboly, které se skládají z písmene A a z indexu řecké abecedy označující druh plochy (např. A_γ - čelo). Plochy přiřazené k vedlejšímu ostří se označují s čárkou (např. A_α' - vedlejší hřbet).

Hřbet nástroje - A_α je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku. Hlavní hřbet A_α směřuje k přechodové ploše obrobku, vedlejší hřbet A_α' směřuje k obrobené ploše obrobku (viz obr. 2.1).

Čelo nástroje - A_γ je plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříska. Tvar čela určuje křivka vytvořená průsečíkem plochy čela A_γ s požadovanou rovinou, přičemž je tento tvar obvykle definovaný a měřený v nástrojové rovině ostří P_n .

Utvařec třísky - je část čelní plochy určené k lámání nebo svinování třísky. Mohou být vylišovány nebo přiloženy na čelo nástroje.



Obr. 2.1 Části, plochy a ostří na řezné části soustružnického nože [8]

Ostří - je prvek řezné části, kterým se realizuje vlastní proces řezání. Je průsečnicí hřbetu a čela.

Hlavní ostří S - je část ostří, která má sloužit k vytvoření přechodové plochy na obrobku.

Vedlejší ostří S' - provádí dokončovací práci na obrobené ploše, ale nevytváří plochu přechodovou.

Uvažovaný bod ostří - je bod nacházející se v kterémkoliv místě hlavního nebo vedlejšího ostří, ve kterém se nachází počátek souřadnicového systému.

Špička nástroje - je relativně malá část ostří nacházející se na spojnici hlavního a vedlejšího ostří. Může být přímá (sražená) nebo zaoblená (viz obr. 2.2).



Obr. 2.2 Špička nástroje [8]

3. Geometrie obráběcích nástrojů

Geometrie řezného nástroje má značný vliv na velikost síly řezání a její rozložení do jednotlivých složek, na utváření a odvod třísky, drsnost, přesnost a kvalitu výsledné obrobene plochy, trvanlivost břitů a hospodárnost obráběcího procesu.

Z uvedeného je zřejmé, že chceme-li při využívání nástroje minimalizovat ztráty, je při konstrukci nástroje a zejména jeho ostření nezbytná dokonalá znalost vhodné pracovní geometrie břitů a jejího vlivu na proces obrábění.

Nástrojové i geometrické parametry jsou charakterizovány pomocí úhlů, které jsou definovány v příslušných rovinách. Pro jednoznačnou identifikaci úhlů řezné části se definují dvě souřadnicové soustavy:

- nástrojová - v této rovině se definuje geometrie řezné části ve statickém pojetí. Uplatní se zejména při konstrukci, výrobě, kontrole a ostření nástroje. Roviny používané v této rovině se nazývají nástrojové roviny.

- pracovní - tato soustava se nazývá také jako efektivní nebo kinetická. Identifikuje se zde geometrie v procesu řezání. Roviny používané v této soustavě se nazývají pracovní roviny. Jejich názvy a značení je totožné jako u nástrojových rovin, s tím rozdílem, že se přidává index e (např. P_{re}). [8]

3.1 Nástrojové roviny

Nástrojová rovina základní P_r - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr hlavního řezného pohybu.

Nástrojová rovina boční P_f - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, leží v ní vektor posuvového pohybu v_f a je kolmá na rovinu základní P_r . (Pozn. leží v ní vektory všech pohybů v_c , v_f , v_e a všeobecně je tato rovina orientována ve směru posuvového pohybu).

Nástrojová rovina zadní P_p - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní P_r a na nástrojovou rovinu boční P_f .

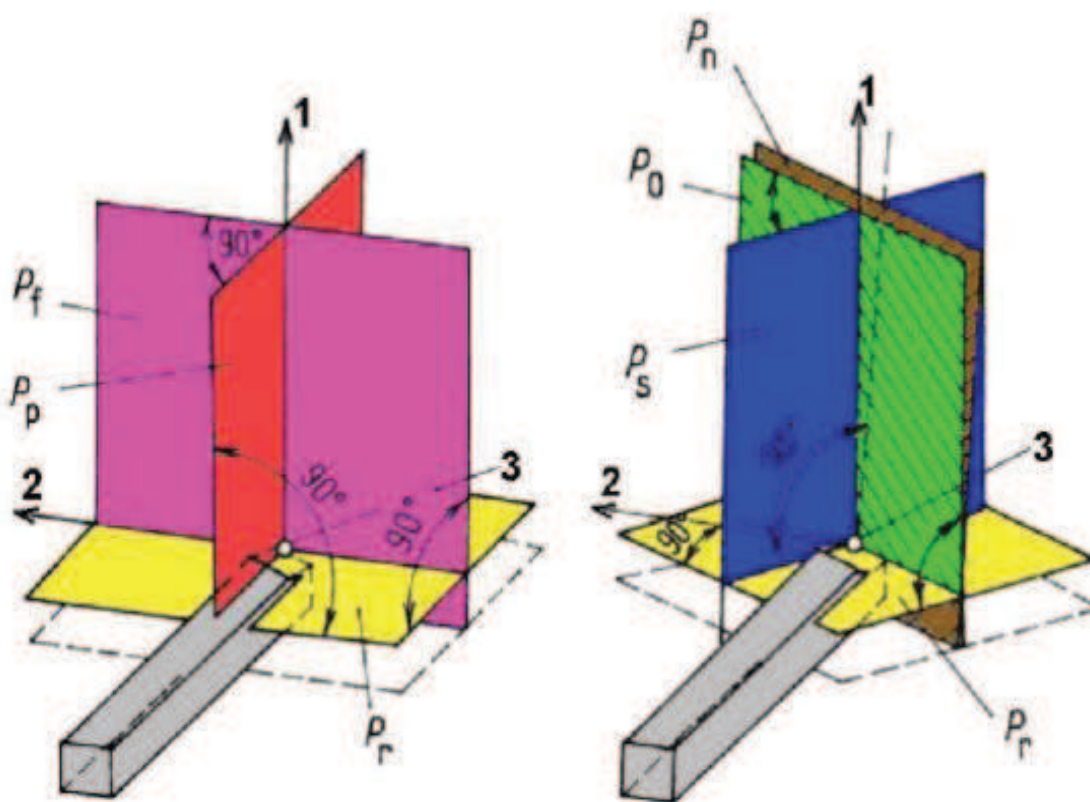
Nástrojová rovina ostří P_s - je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří, kolmá na rovinu základní P_r .

Nástrojová rovina ortogonální P_o - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na nástrojovou rovinu základní P_r a nástrojovou rovinu ostří P_s .

Nástrojová rovina normálová P_n - je rovina kolmá na ostří S v uvažovaném bodě ostří. Jako jediná není obecně kolmá na nástrojovou rovinu základní P_r (pouze když je úhel sklonu ostří $\lambda_s = 0$).

Nástrojová rovina největšího spádu čela P_g - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na čelo nástroje A_γ a na nástrojovou rovinu základní P_r . Vyznačuje se tím, že úhel čela měřený v této rovině je největší, tedy γ_g je maximální.

Nástrojová rovina největšího spádu hřbetu P_b - je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na rovinu hřbetu nástroje A_α a na nástrojovou rovinu základní P_r . Vyznačuje se tím, že úhel hřbetu měřený v této rovině je nejmenší, tedy α_b je minimální. (obr. 3.1). [8]



Obr. 3.1 Roviny nástrojové souřadné soustavy soustružnického nože (pozn. 1 – směr vektoru hlavního řezného pohybu (předpokládáný), 2 – směr posuvového pohybu, 3 – uvažovaný bod ostří [8])

3.2 Pracovní roviny

V pracovní (efektivní, kinetické) souřadnicové soustavě se identifikuje geometrie řezné části nástroje v procesu řezání. Roviny používané v pracovní souřadnicové soustavě se nazývají pracovní roviny (viz obr. 3.2).

Pracovní rovina základní P_{re} je rovina procházející uvažovaným bodem ostří a je kolmá na předpokládaný směr řezného pohybu.

Pracovní rovina boční P_{fe} je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, je rovnoběžná se směrem posuvového pohybu a je kolmá na pracovní rovinu základní P_{re} .

Pracovní rovina zadní P_{pe} je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovinu základní P_{re} a na pracovní rovinu boční P_{fe} .

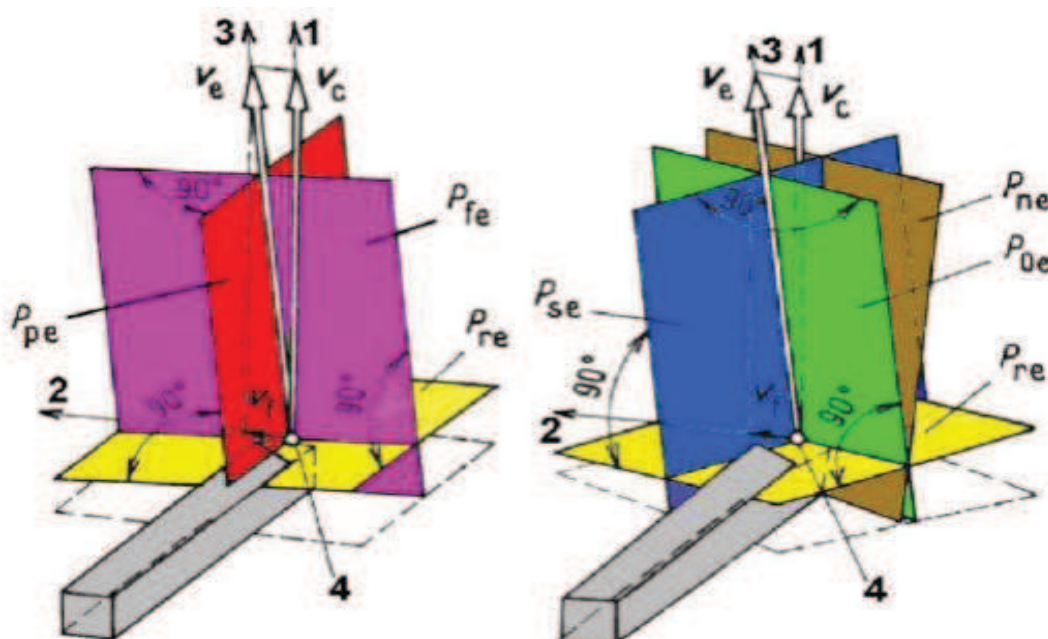
Pracovní rovina ostří P_{se} je rovina tečná k ostří v uvažovaném bodě ostří a je kolmá na pracovní rovinu základní P_{re} .

Pracovní rovina ortogonální P_{oe} je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na pracovní rovinu základní P_{re} a pracovní rovinu ostří P_{se} .

Pracovní rovina normálová P_{ne} je rovina kolmá na ostří S v uvažovaném bodě ostří. Pracovní rovina normálová P_{ne} je totožná s nástrojovou rovinou normální P_n , takže $P_{ne} = P_n$.

Pracovní rovina největšího spádu čela P_{ge} je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na čelo nástroje A_γ a pracovní rovinu základní P_{re} . Tato rovina se vyznačuje tím, že pracovní úhel čela v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela největší, tedy γ_{ge} je maximální.

Pracovní rovina největšího spádu hřbetu P_{be} je rovina procházející uvažovaným bodem ostří, kolmá na hřbet nástroje A_α a pracovní základní rovinu P_{re} . Tato rovina se vyznačuje tím, že pracovní úhel hřbetu v ní měřen je ze všech pracovních úhlů čela nejmenší, tedy α_{be} je minimální.



Obr. 3.2 Roviny pracovní souřadnicové soustavy soustružnického nože (pozn. 1 - směr hlavního pohybu, 2 - směr posuvového pohybu, 3 - směr řezného pohybu, 4 - uvažovaný bod ostří [8])

3.3 Nástrojové a pracovní úhly řezné geometrie

Úhly řezné geometrie se určují pomocí rovin v příslušných souřadnicových soustavách. Definice jsou pro nástrojovou a pracovní soustavu zcela analogické. K označení se vždy přidává index roviny, ve které je úhel měřen. Nástrojové a pracovní úhly se dají rozdělit do těchto skupin:

- Nástrojové a pracovní úhly polohy ostří:

Určují se v základní rovině P_r a označují se proto indexem r (resp. r_e). Patří sem úhly: κ_r – vedlejší úhel nastavení, ε_r – úhel špičky, ψ_r – doplňkový úhel nastavení, κ'_r – vedlejší úhel nastavení. Pro tyto úhly platí: $\kappa_r + \varepsilon_r + \kappa'_r = 180^\circ$, $\kappa_r + \psi_r = 90^\circ$.

- Nástrojové a pracovní úhly čela, hřbetu, břitu a řezu:

Úhly čela v ortogonální, boční, zadní a normální rovině mají označení γ_o , γ_f , γ_p a γ_n . Podobně úhly hřbetu α , břitu β a řezu δ . Ve všech rovinách platí $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.

- Úhel sklonu ostří λ_s .

Tento úhel svírá ostří S se základní rovinou P_r v rovině ostří P_s . I zde hovoříme o kladné a záporné hodnotě úhlu λ_s . Kladných hodnot nabývá tehdy, je-li špička nejvyšším bodem ostří, záporných naopak je-li bodem nejnižším. [9]

Tab. 3.1 Definice nástrojových úhlů

		Určení	
		Úhel mezi rovinami	V rovině
Úhel nastavení	κ_r	$P_s - P_f$	P_r
Úhel nastavení vedl. ostří	κ_r'	$P'_s - P_f$	P_r
Doplňkový úhel nastavení	ψ_r	$P_s - P_p$	P_r
Úhel špičky	ϵ_r	$P_s - P'_s$	P_r
Ortogonální úhel čela	γ_o	$A_f - P_r$	P_o
Boční úhel čela	γ_f	$A_f - P_r$	P_f
Zadní úhel čela	γ_p	$A_f - P_r$	P_p
Normální úhel čela	γ_n	$A_f - P_r$	P_n
Ortogonální úhel hřbetu	α_o	$A_a - P_s$	P_o
Boční úhel hřbetu	α_s	$A_a - P_s$	P_f
Zadní úhel hřbetu	α_f	$A_a - P_s$	P_p
Normální úhel hřbetu	α_n	$A_a - P_s$	P_n
Ortogonální úhel břitu	β_o	$A_f - A_a$	P_o
Boční úhel břitu	β_s	$A_f - A_a$	P_f
Zadní úhel břitu	β_f	$A_f - A_a$	P_p
Normální úhel břitu	β_n	$A_f - A_a$	P_n
Ortogonální úhel řezu	δ_o	$A_f - P_s$	P_o
Boční úhel řezu	δ_s	$A_f - P_s$	P_f
Zadní úhel řezu	δ_f	$A_f - P_s$	P_p
Normální úhel řezu	δ_n	$A_f - P_s$	P_n
Úhel sklonu ostří	λ_s	$S - P_f$	P_s

Úhly jsou důležité pro identifikaci geometrické polohy ostří, čela a hřbetu. Nástrojové úhly jsou definovány v nástrojové souřadnicové soustavě a mají index totožný s indexem nástrojové roviny ve které jsou měřeny. Nástrojové úhly obecně ovlivňují:

1. velikost síly řezání a její složky,
2. teplotu řezání,
3. tvorbu a odvod třísky,
4. hospodárnost obrábění,
5. strukturu povrchu,
6. vlastnosti povrchové vrstvy. [8]

4. Tvorba třísky

Řezný proces technických materiálů probíhá za trvalého zatěžování odřezávané vrstvy řezným nástrojem. U krystalických látek, mezi něž se řadí všechny kovy, dochází vlivem tohoto zatěžování k plastické deformaci obráběného materiálu a oddělení vrstvy materiálu z obrobku a její transformaci v třísku.

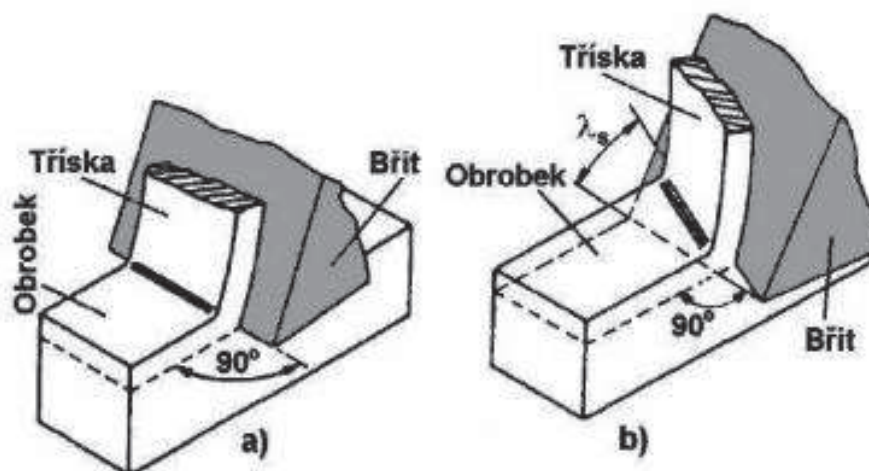
V závislosti na stavu materiálu v odřezávané vrstvě probíhá její oddělení od obrobku dvěma základními způsoby, a to:

- odtržením, křehkým lomem v polykrystalu
- odstřížením, tvárným lomem- v oblasti řezu převládají smyková napětí.

Mechanismus vzniku těchto druhů třísek se od sebe liší. V závislosti na stupni plasticity obráběného materiálu vznikají pak jednotlivé druhy třísek.

Prioritním výstupem jsou parametry obrobené plochy. Při řezání působí obráběcí nástroj na obrobek a vyvolává v materiálu napětí, proti kterému klade materiál odpor. V důsledku toho se ustálí pole řezání, které má výrazné charakteristiky stavu napjatosti, teploty a deformace. Proces řezání se může realizovat jako ortogonální nebo obecné řezání.

V případě ortogonálního řezání je ostří nastaveno kolmo na směr řezného pohybu a daná problematika se řeší v rovině. Typickým příkladem ortogonálního řezání je zapichování, frézování nástrojem s přímými zuby, protahování apod. Schematicky je znázorněno na (obr. 4.1 a). Při obecném řezání je třeba řešit řezný proces v prostoru (podélné soustružení, vrtání, frézování nástrojem se zuby ve šroubovici apod. Schéma je uvedeno na (obr. 4.1 b). [10, 11]

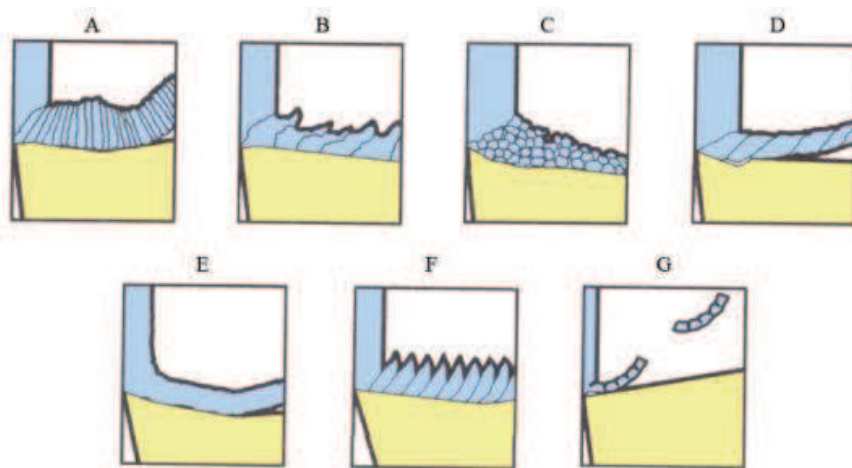


Obr. 4.1 Realizace řezného procesu [18]

4.1 Třísky při obrábění kovů

Utváření vhodného tvaru třísky při obrábění kovů a následný kontrolovaný odchod ze zóny řezu souvisí významně s výslednou kvalitou obrobene plochy a přesností rozměrů. Podle materiálu obrobku se dají třísky zařadit do sedmi základních typů, jak je uvedeno na (obr. 4.2).

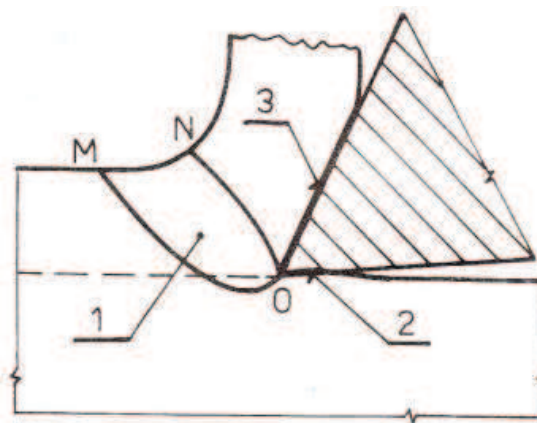
- A - Plynulá článkovitá soudržná tříska vznikající u většiny ocelí
- B - Plynulá soudržná lamelová tříska vznikající u většiny korozivzdorných ocelí
- C - Tvářená elementární tříska vznikající u většiny litin
- D - Nepravidelně článkovitá plynulá tříska vznikající u většiny vysoce legovaných materiálů
- E - Tvářená plynulá soudržná tříska vznikající při malých řezných silách, např. při obrábění hliníku
- F - Dělená segmentová tříska vznikající při velkých řezných silách a vysokých teplotách řezání, např. při obrábění tvrdých materiálů
- G - Plynulá segmentová tříska vznikající při obrábění titanu



Obr. 4.2 Základní druhy tvářených třísek [18]

4.2 Teorie utváření třísek

Experimentální studium ortogonálního řezání plastických kovů prokazuje, že k plastické deformaci dochází ve třech oblastech podle (obr. 4.3).



Obr. 4.3 Oblasti plastické deformace [18]

1. primární plastická deformace v odřezávané vrstvě
2. deformace v povrchové vrstvě obrobenej plochy
3. sekundární plastická deformace v povrchové vrstvě stykové plochy mezi třískou a čelem nástroje

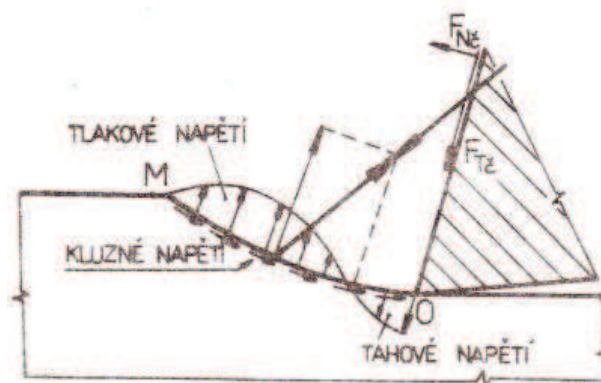
K primární plastické deformaci dochází v ohraničené oblasti body MNO. Počátek deformace nastává v oblasti MO a konec je ohraničen body NO.

Při teoretickém studiu těchto primárních deformací je při řezání především sledován:

- velikost a tvar deformovaného objemu v oblasti plastických deformací
- druh vznikající deformace a druh vzniklých napětí
- deformační rychlost a intenzita proběhlé deformace

Vychází se z předpokladu izotropního materiálu se stálou mezí kluzu.

Na (obr. 4.4) je znázorněno rozložení napětí na ploše OM, jehož výslednice je v rovnováze se silou danou působením nástroje na odebíranou vrstvu. Přitom je uvažována tangenciální a normálová složka síly $F_{T,N}$ působící na čele. Síla daná působením tlaků na čele je zanedbávána.



Obr. 4.4 Rozložení napětí [18]

Silové poměry v deformační oblasti a s tím související i druh vytvářené třísky a potřebná síla při obrábění jsou velmi silně ovlivňovány vlastnostmi obráběného materiálu, především jeho deformačními a zpevňovacími schopnostmi.

4.3 Oblast utváření vhodných třísek

Pro dosažení vhodných třísek při soustružení a tím i kvalitního a rozměrově přesného povrchu je třeba zvolit vhodnou břitovou destičku s určitou geometrií a tvarem utvařeče třísek. Požadovaný tvar takovýchto třísek je především článkovitý nebo ve formě krátkých šroubovic. Na (obr. 4.5) je uveden graf závislosti šířky záběru ostří a_p a na posuvu f . [13]

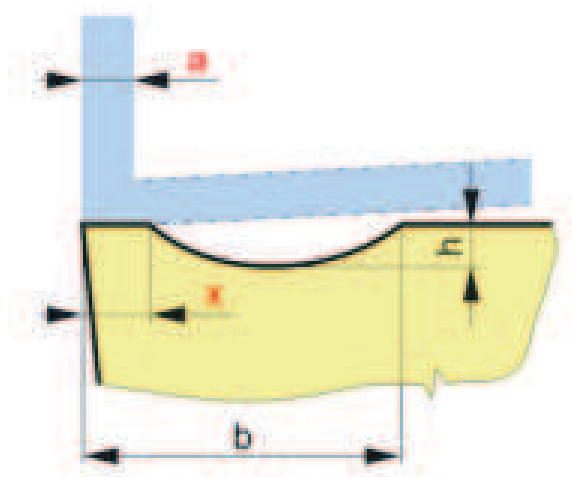


Obr. 4.5 Tvar třísek v závislosti na šířce záběru ostří a posuvu [13]

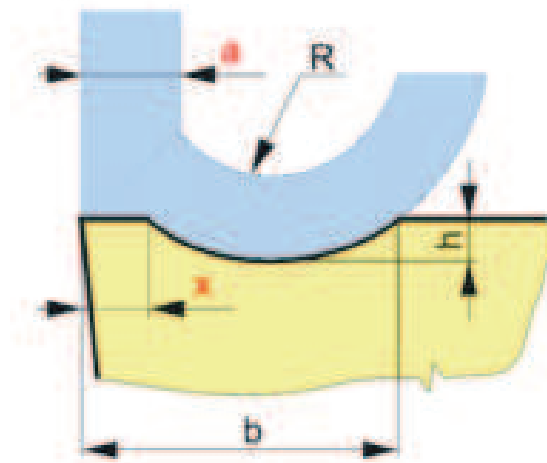
Takovýto graf je vždy individuální pro danou břitovou destičku, její geometrii a tvar utvařeče. Důležité je také rozmezí použitelných řezných rychlostí. Zmiňované veličiny jsou vždy závislé na materiálu obrobku.

4.4 Funkce utvařeče třísky

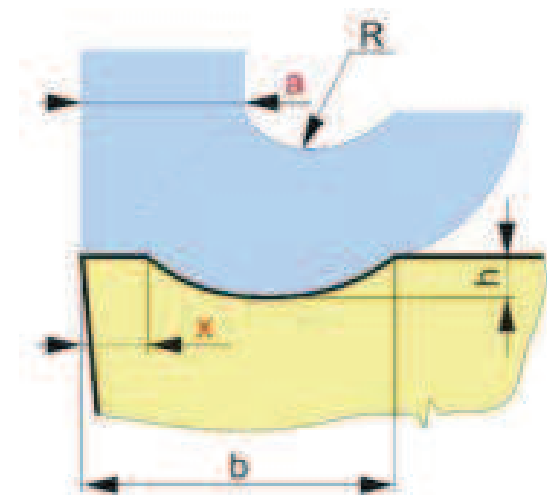
Schopnost efektivně utvářet třísku a následně ji usměrnit ke kontrolovanému odchodu ze zóny řezu, případně dopomoci k lomu na elementy, je významnou vlastností břítu. Tvar vyměnitelné břitové destičky, funkční pro řezný proces je složen z kombinace utvařečů třísek, fazetek, úhlů a zaoblení ostří. Optimalizováním těchto veličin, především výběrem vhodné břitové destičky, se zefektivňuje daný řezný proces. Značnou část čela břitové destičky zabírá utvařeč třísek, existují různé typy, které se liší vhodností použití. Každý typ utvařeče pracuje správně v určitém rozmezí posuvů a hloubek řezu dle funkčního diagramu. Následující obrázky reprezentují situace utváření třísky a její závislost na šířce stabilizační fazetky x , na jejím úhlu γ a šířce záběru ostří p nebo posuvu na otáčku f . Úhel nastavení K_r je u vyobrazených případů 90° . (Obr. 4.6) znázorňuje situaci, kdy tříska nevnikne do utvařeče, to je způsobeno tím, že tloušťka odřezávané vrstvy v obrázku označená a je výrazně menší než šířka fazetky x , v tomto případě není tříska nijak utvářena. (Obr. 4.7) reprezentuje žádoucí jev, kdy je výše posuvu f , a tím i větší tloušťka odebírané vrstvy a větší než vzdálenost x . V tomto případě tříska vniká do utvařeče, kde je následně zakřivena podle parametrů utvařeče. Na (obr. 4.8) je potom vyobrazena situace kdy je posuv pro daný utvařeč příliš vysoký, nejprve dojde k nadměrnému utváření, až drcení třísky. Při dalším zvýšení posuvu už tříska utvařeč mine a k utvoření nedojde. Maximální posuv, při kterém dojde ke zmiňovanému jevu a tříska žlábkový utvařeč mine, je závislá na vzdálenosti výstupní hrany žlábků od ostří b a na hloubce žlábků h . [13, 18]



Obr. 4.6 [18]



Obr. 4.7 [18]



Obr. 4.8 [18]

5. Rozbor experimentu

Tato část diplomové práce se zabývá všemi použitými stroji, přístroji, měřidly, použitým řezným nástrojem a materiálem. Dále popisem samotného experimentu a vyhodnocením naměřených dat a informací.

5.1 Stroj

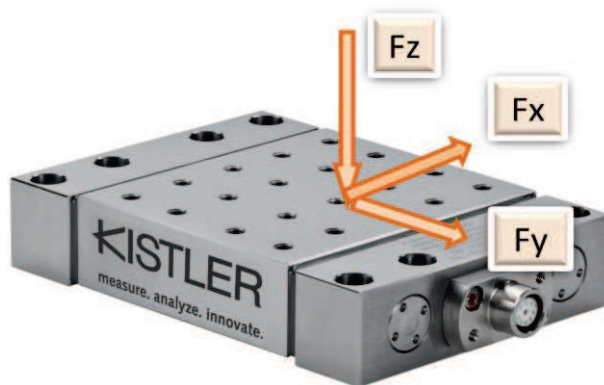
K ukázkám a vyhodnocení tohoto zatížení bylo využito dynamometrické zařízení firmy Kistler – majetek VŠB – TU viz kapitola 5.2, instalovaném na stroji DMG MoriSeiki NLX 2500/700. (obr. 5.1)



Obr. 5.1 Stroj DMG MoriSeiki NLX 2500/700

5.2 Dynamometrické zařízení

V rámci této diplomové práce byl pro naměření příslušných hodnot složek sil použit tento dynamometr firmy Kistler (obr 5.2). Který byl instalován na příslušném stroji, následně byl propojen s počítačem, do kterého byly hodnoty rovnou zapisovány a připraveny k dalšímu zpracování.

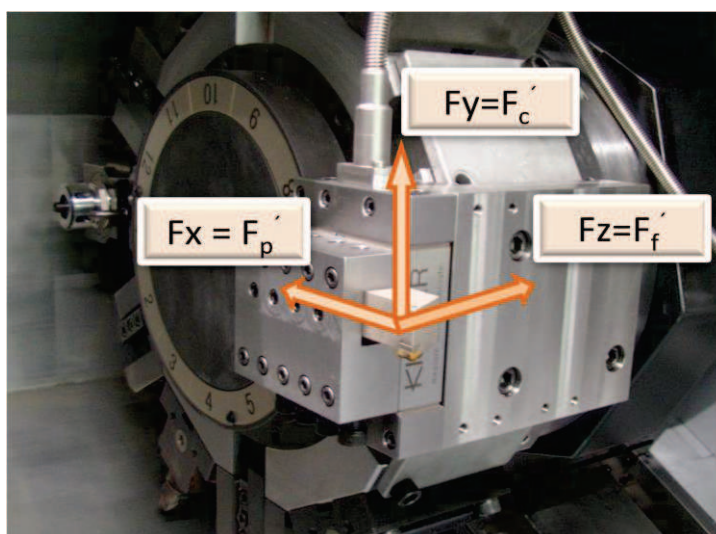


Obr. 5.2 Dynamometr firmy Kistler [2]

Tab.5.1 Parametry dynamometru

<i>Max. povolené zatížení</i>	F_x, F_y, F_z	$-10...10$	kN
<i>Tuhost</i>	c_x, c_z	1 000	$N/\mu m$
	c_y	4 000	$N/\mu m$
<i>Přesnost</i>		$\leq \pm 2$	%
<i>Rozměry celkové</i>		107x150	mm
<i>Rozměry upínací</i>		90x105	mm

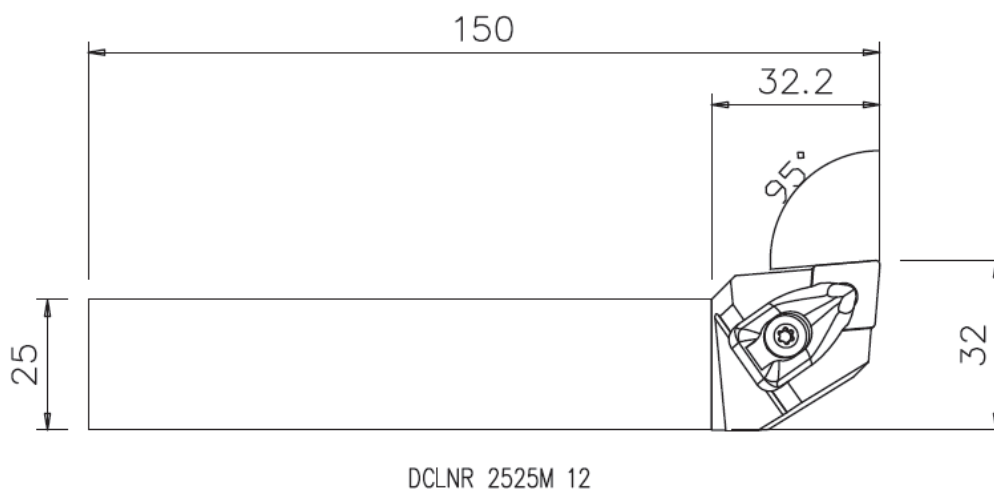
Tento dynamometr byl nainstalován přímo na stroj (obr. 5.3) a následně propojen s počítačem, instalace dynamometru na zásobník s nástroji proběhla rychle a bez jakýchkoli problémů. Po upevnění dynamometru a přitáhnutí všech příslušných šroubů jsme mohli zahájit náš experiment.



Obr. 5.3 Instalace dynamometru

5.3 Nožový držák

Pro tento experiment byl použit nožový držák DCLNR 2525M-12 s úhlem nastavení $\kappa_r = 95^\circ$ (obr. 5.4).



Obr. 5.4 Nožový držák DCLNR 2525M-12 [14]

5.4 Obráběný materiál

Na tento experiment byl použit materiál ČSN 12050. Uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení.

Vhodná na hřídele těžních strojů, turbokompresorů, karuselů apod. Na větší ozubená kola, šneky, ozubené věnce, rotory šroubových kompresorů, ojnice, pístnice, vřetena, plunžry, písty kompresorů, čepy, šrouby, dopravní válečky, lamely spojek, kladičky, lůžka, páky, zarážky, kolíky, spojovací součásti, posunovací vidlice, držáky, unašeče satelitů, vahadla, západky, kované svorníky tlakových nádob, vrtací tyče a frézovací trny. [16]

5.5 Řezný nástroj

Jako řezný nástroj byly použity čtyři vyměnitelné břitové destičky s odlišným utvařečem třísky, byly to destičky zakoupeny u firmy ISCAR s těmito utvařeči třísky (CNMG 120408-M3P, CNMG 120408-F3P, CNMM 120408-R3P, CNMM 120408-M4PW).

6. Zpracování a vyhodnocení experimentu

Tato část diplomové práce je zaměřena na vyhodnocení experimentu. Nejdříve bude popsán postup samotného experimentu poté zde budou zpracovány grafy z tohoto měření s příslušným popisem. A samotné vyhodnocení a uplatnění tohoto experimentu.

6.1 Postup experimentu

Před samotným začátkem tohoto experimentu je důležité zkontrolovat a připravit si všechny potřebné věci (VBD firmy ISCAR, dynamometr firmy Kistler, nožový držák DCLNR 2525M-12, počítač, atd.), a měřící zařízení. Následně byla zkontrolována funkčnost a bezpečný chod obráběcího stroje. Když byla ověřena spolehlivost stroje, byl upnut materiál. Následně bylo upevněno dynamometrické zařízení na zásobník s nástroji, poté byl již zmíněný nožový držák DCLNR 2525M-12 s vyměnitelnou břitovou destičkou od firmy Iscar, upevněn do tohoto dynamometru s vyložením 47cm (obr. 5.3). Tato vzdálenost vyložení je dána použitým dynamometrem. Dynamometr byl propojen s měřícím zařízením, který byl propojen s počítačem, abychom mohli následně vyhodnotit naměřené složky síly. Materiál byl ubírán po stejné délce, jen se měnily řezné podmínky řezná rychlost a posuv. Hloubka řezu zůstala po celou dobu experimentu konstantní. Po naměření hodnot byla destička v nožovém držáku vyměněna a postup se opakoval se všemi čtyřmi destičkami, které byly použity.

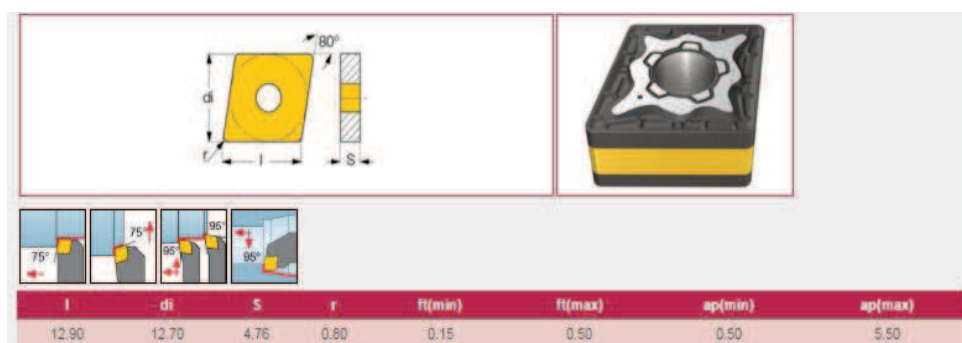
Upevnění dynamometru s nožovým držákem a následným propojením s příslušným měřidlem a počítačem bylo vcelku rychlé a jednoduché. Po ověření funkčností všech příslušných měřidel a nástrojů byl zahájen experiment.

6.2 Vyhodnocení experimentu

Řezné podmínky se průběžně během experimentu měnily, jen hloubka řezu a_p zůstala po dobu celého experimentu konstantní. Po naměření potřebných hodnot se také měnily vyměnitelné břitové destičky s různými utvařeči, abychom je mohli následně porovnávat a vyvodit závěry. V této části diplomové práce se seznámíme s použitými vyměnitelnými břitovými destičkami a jejíma naměřenými hodnotami. Která budou blíže popsány a rozebrány.

6.2.1 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-M3P

Jako první byla použita vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-M3P (obr 6.1).

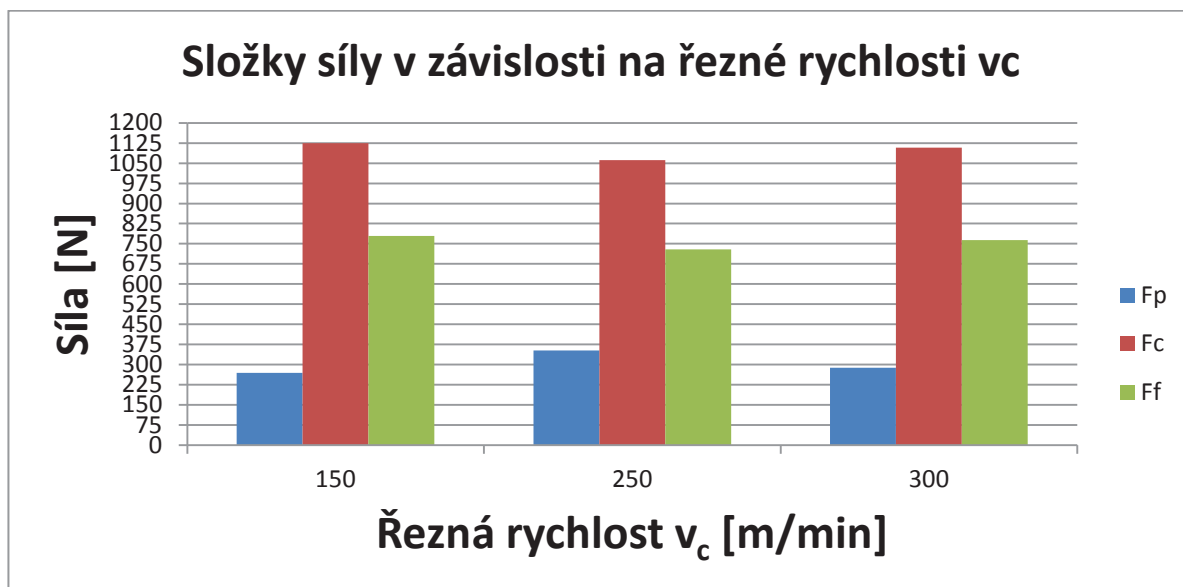


Obr. 6.1 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-M3P, s řeznými podmínkami [17]

Tab. 6.1

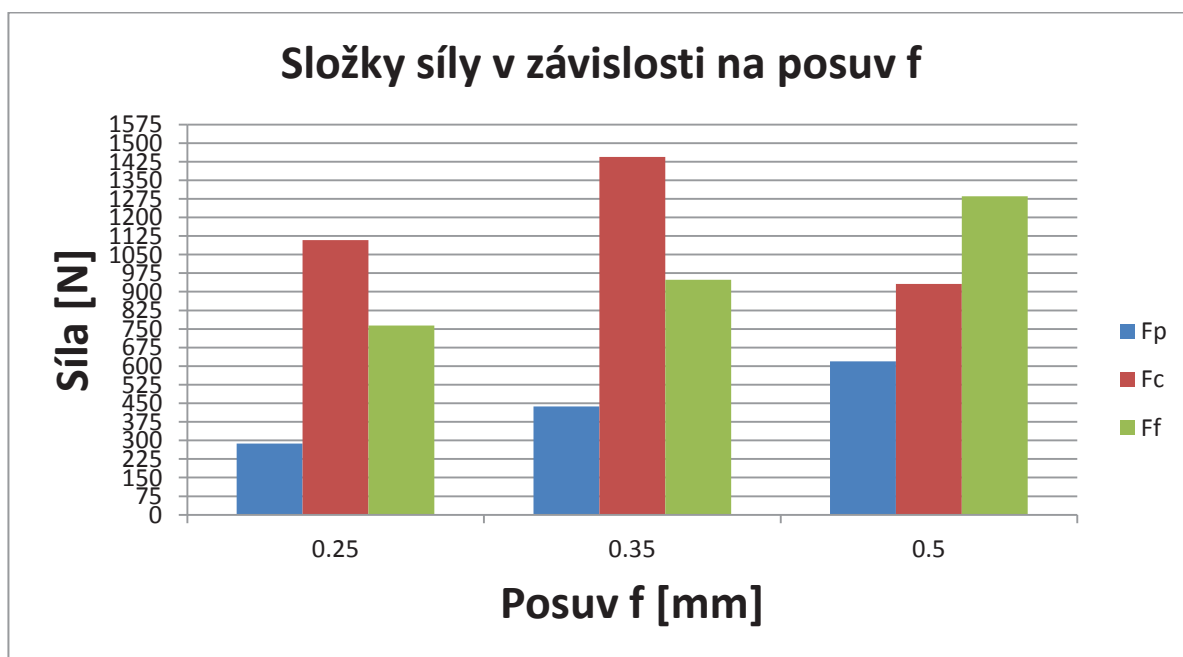
Tabulka použitých řezných parametrů a průměrných hodnot složek sil					
v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]	F_p [N]	F_c [N]	F_f [N]
150	0,25	2	269	1125	779
250	0,25	2	353	1061	729
300	0,25	2	288	1108	764
300	0,35	2	437	1444	949
300	0,5	2	619	932	1285

V (tab. 6.1) je vidět kolik měření bylo provedeno touto vyměnitelnou břitovou destičkou a jaké podmínky byly použity, také zde lze vidět průměrné hodnoty řezných složek sil F_p – pasivní složka síly, F_c – řezná složka síly, F_f – posuvová složka síly. Z této tabulky lze nejlépe vyčíst kdy má, která složka nejvyšší a naopak nejnižší hodnotu. Lze zde například vidět, že posuvová složka má nejvyšší hodnotu za podmínek $v_c = 300$ m/min a $f = 0,5$ mm. A naopak řezná složka má za těchto podmínek hodnotu nejnižší.



Graf 6.1 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantním posuvu

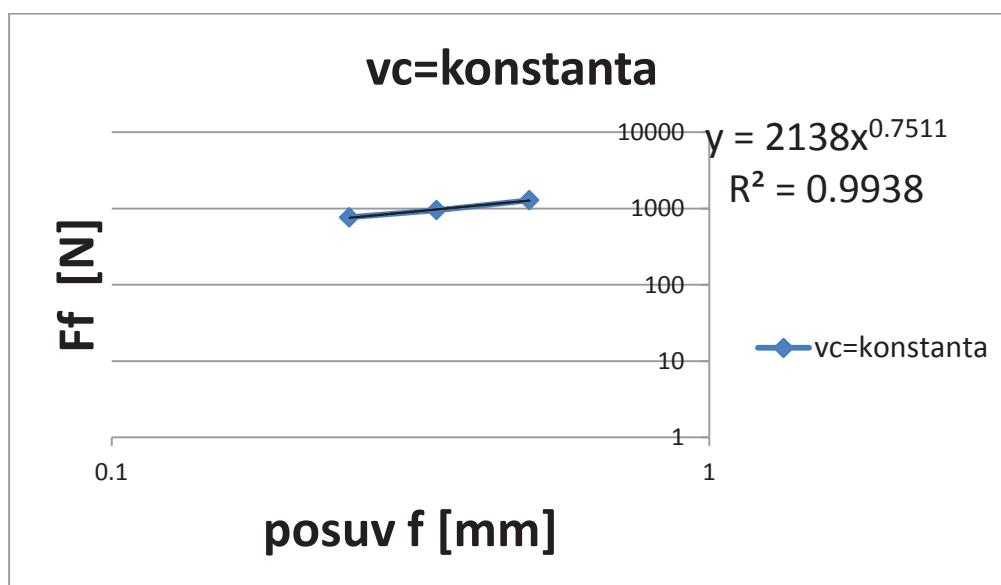
Na těchto grafech (6.1 a 6.2) lze vidět vynesené průměrné hodnoty jednotlivých řezných složek sil. Na grafu (6.1) lze vidět, že řezná složka síly se měnila jen nepatrně což se neshoduje s našim teoretickým úsudkem (čím vyšší rychlost – tím vyšší hodnota), což je z hlediska experimentu zajímavé zjištění. Naopak posuvová složka se měnila jen nepatrně, což se shoduje s našim teoretickým úsudkem, protože během měření byl posuv konstantní. U pasivní složky lze vidět malý nárůst hodnoty a po zvětšení řezné rychlosti na hodnotu $v_c = 300 \text{ m/min}$ zase pokles hodnoty.



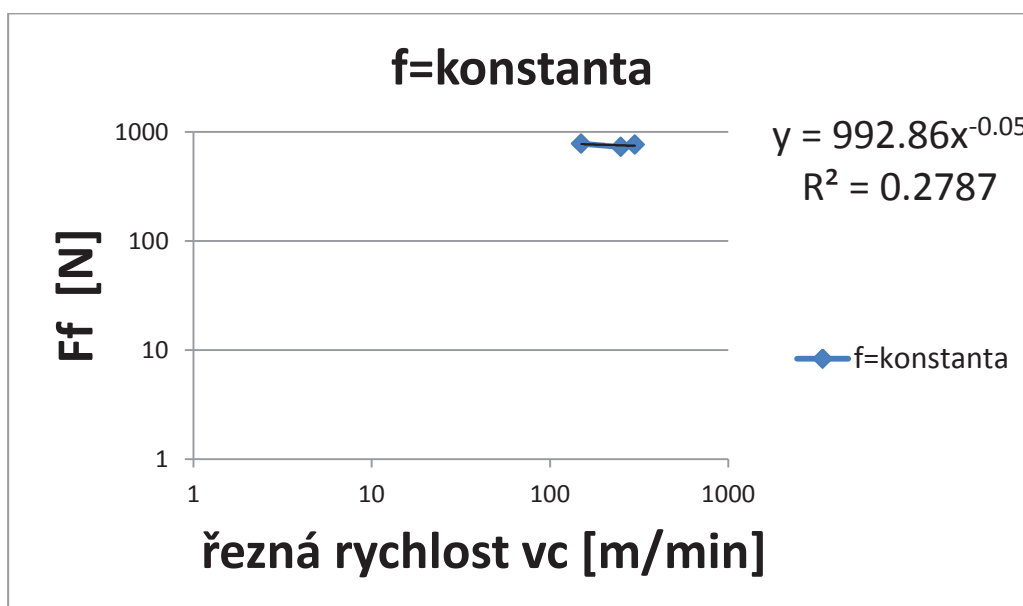
Graf 6.2 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantní řezné rychlosti

Při konstantní řezné rychlosti a měnícímu se posuvu, graf (6.2), lze vidět již předpokládané výsledky, kdy se především posuvová složka síly postupně zvětšuje se zvětšujícím se posuvem. Stejný průběh měla také pasivní složka síly, kdy se nám hodnota postupně zvyšovala. Řezná složka síly měla také stoupající tendenci, ale po zvětšení posuvu na $f = 0,5\text{mm}$ tato hodnota prudce klesla.

- **Strukturální rovnice:** Vzorový výpočet pasivní složky síly, výpočty ostatních složek sil, jsou uvedeny v elektronické příloze. Výpočet je analogicky stejný pro všechny použité destičky.



Graf 6.3 Vliv posuvu na posuvovou složku síly v logaritmickém grafu



Graf 6.4 Vliv řezné rychlosti na posuvovou složku síly v logaritmickém grafu

Na logaritmickém grafu (6.3) lze vidět vliv posuvu na posuvovou složku síly, a na logaritmickém grafu (6.4) lze vidět vliv řezné rychlosti na posuvovou složku síly. Grafy pro ostatní použité vyměnitelné břitové destičky a jejich výpočty jsou uvedené v elektronické příloze.

- $C_1 = 2138$
- $y_{Ff} = 0,751$
- $C_2 = 992,8$
- $z_{Ff} = -0,05$

$$C_{Ff}^1 = \frac{C_1}{vc^{z_{Ff}}} = \frac{2138}{300^{-0,05}} = 2843,6$$

$$C_{Ff}^2 = \frac{C_2}{f^{y_{Ff}}} = \frac{992,8}{0,25^{0,751}} = 2811,96$$

$$C_{Ff} = \frac{C_{Ff}^1 + C_{Ff}^2}{2} = \frac{2843,6 + 2811,96}{2} = 2827,78$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot f^{y_{Ff}} \cdot vc^{z_{Ff}} = 2804,44 \cdot f^{0,751} \cdot vc^{-0,05} \quad [N]$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot vc^{z_{Fc}} = 1034,67 \cdot f^{-0,25} \cdot vc^{-0,04} \quad [N]$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot f^{y_{Fp}} \cdot vc^{z_{Fp}} = 70,61 \cdot f^{0,192} \cdot vc^{1,102} \quad [N]$$

6.2.2 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-F3P

Jako další vyměnitelná břitová destička byla použita CNMG 120408-F3P (obr. 6.2).

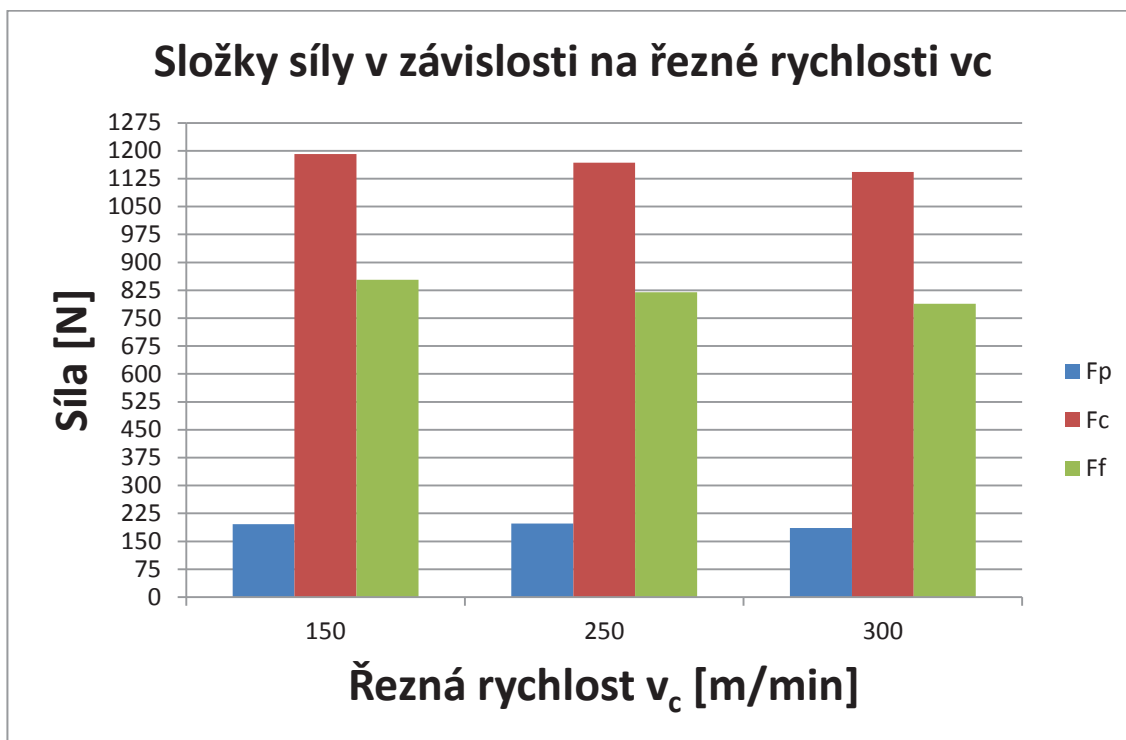


Obr. 6.2 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-F3P, s řeznými podmínkami [17]

Tab. 6.2

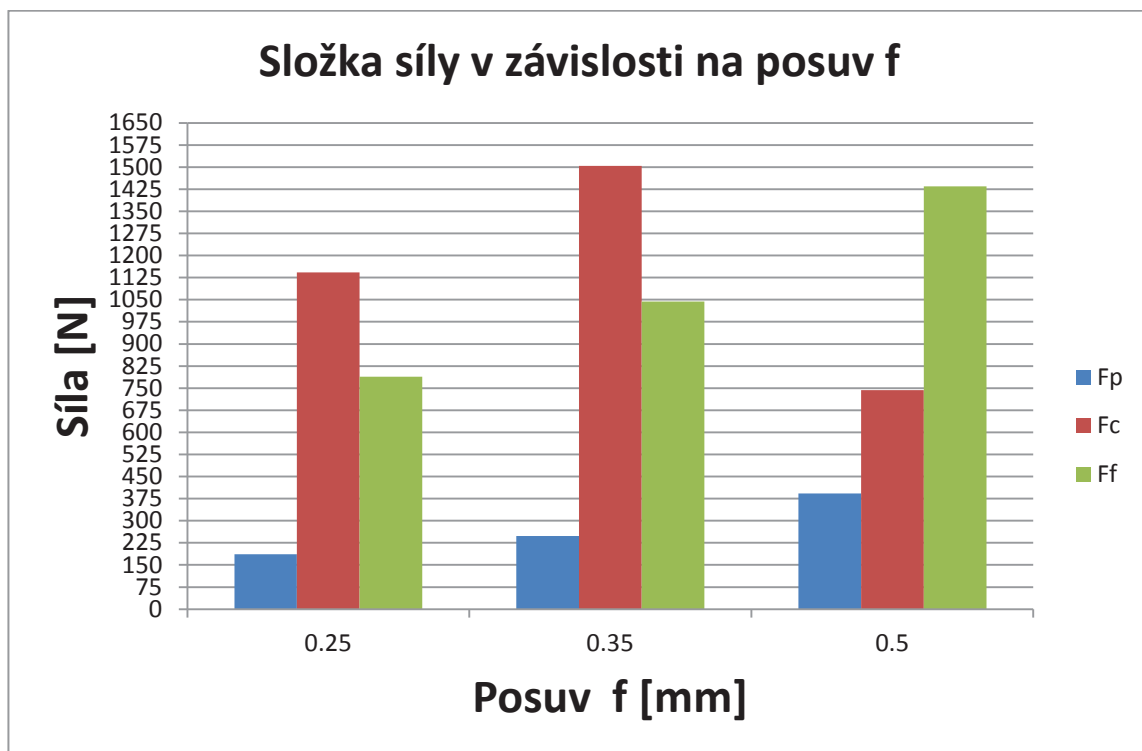
Tabulka použitých řezných parametrů a průměrných hodnot složek sil					
v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]	F_p [N]	F_c [N]	F_f [N]
150	0,25	2	196	1191	853
250	0,25	2	198	1168	820
300	0,25	2	186	1143	789
300	0,35	2	248	1504	1044
300	0,5	2	393	743	1435

U této vyměnitelné břitové destičky si lze všimnout, že značný vliv na všechny složky sil má posuv (tab. 6.2), se zvětšujícím se posuvem nám rostla i hodnota složky síly, až na řeznou složku síly, která při rychlosti $v_c = 300$ m/min a posuvu $f = 0,5$ mm prudce klesla.



Graf 6.5 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantním posuvu

Při pohledu na graf (6.5) lze usoudit, že řezná složka síly, se zvětšující řeznou rychlostí klesá, což opět vyvrací naše teoretické tvrzení, kdy jsme předpokládali, že při zvyšování řezné rychlosti se nám bude zvyšovat i řezná složka síly. Stejný klesající průběh má stejně jako řezná tak i posuvová složka síly, což je také zajímavé, jelikož během měření byl posuv konstantní. Jen pasivní složka síly se mění nepatrně oproti ostatním složkám řádově v jednotkách, což je pro tento experiment zanedbatelný rozdíl.



Graf 6.6 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantní řezné rychlosti

Z grafu (6.6) lze vyčíst, že větší vliv na měnící se hodnoty jednotlivých složek sil má především změna posuvu. Všechny tyto jednotlivé složky sil mají vzestupnou tendenci, jen řezná složka síly rapidně klesla při řezných podmínkách $v_c = 300 \text{ m/min}$ a posuvu $f = 0,35 \text{ mm}$. Za těchto podmínek byl zaznamenán pokles řezné složky síly o cca 770N. Zato posuvová složka síly nám při, řezných podmínkách kdy posuvu byl $f = 0,5 \text{ mm}$ a řezná rychlost $v_c = 300 \text{ m/min}$ vzrostla o skoro 650N v porovnání s posuvem $f = 0,25 \text{ mm}$. Což bylo předpokládáno před zahájením měření.

- **Strukturální rovnice:**

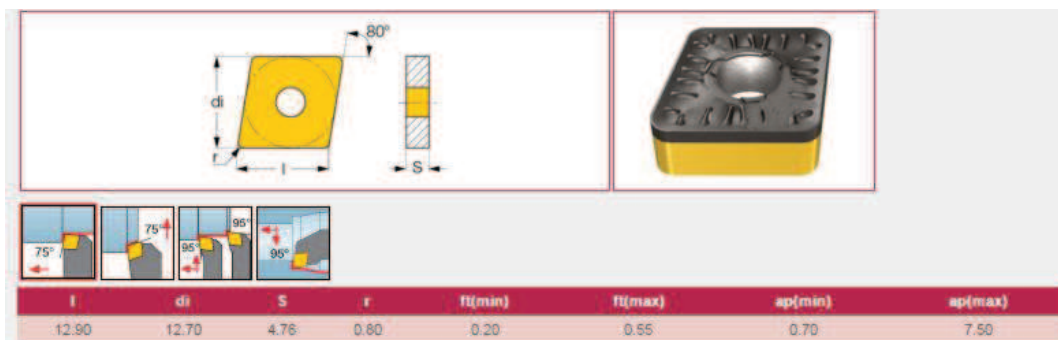
$$F_p = C_{Fp} \cdot f^{y_{Fp}} \cdot v_c^{z_{Fp}} = 122,15 \cdot f^{-0,05} \cdot v_c^{1,081} \quad [\text{N}]$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot v_c^{z_{Fc}} = 699,56 \cdot f^{-0,63} \cdot v_c^{-0,05} \quad [\text{N}]$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot f^{y_{Ff}} \cdot v_c^{z_{Ff}} = 4692,25 \cdot f^{0,863} \cdot v_c^{-0,1} \quad [\text{N}]$$

6.2.3 Vyměnitelná břitová destička CNMM 120408-R3P

Jako třetí v pořadí byla vyměnitelná břitová destička CNMM 120408-R3P (obr. 6.3).

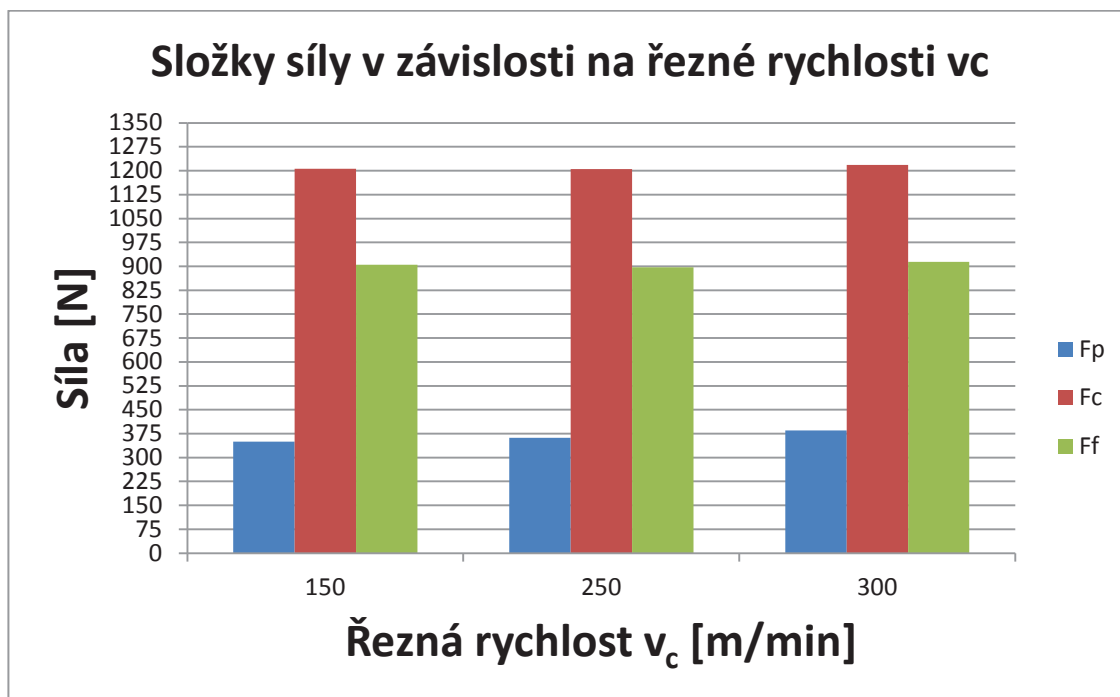


Obr. 6.3 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-R3P, s řeznými podmínkami [17]

Tab. 6.3

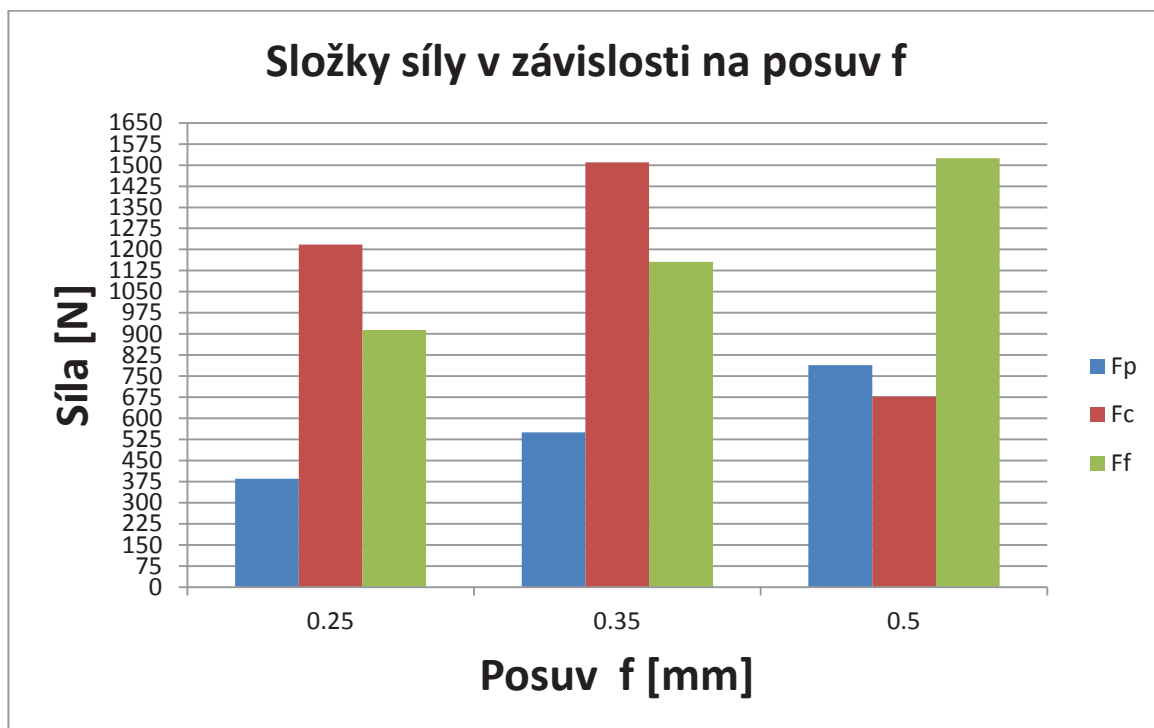
Tabulka použitých řezných parametrů a průměrných hodnot složek sil					
v_c [m/min]	f [mm]	a_p [mm]	F_p [N]	F_c [N]	F_f [N]
150	0,25	2	350	1206	905
250	0,25	2	362	1205	897
300	0,25	2	385	1218	914
300	0,35	2	550	1510	1156
300	0,5	2	789	677	1525

Hodnoty této vyměnitelné břitové destičky jsou podobného charakteru jako u předchozí destičky (CNMG 120408-F3P), to znamená, že značný vliv na hodnotu řezné složky síly má posuv a nikoli řezná rychlost. A také si zde můžeme všimnout, že se zvětšujícím se posuvem se nám zvětšovala i hodnota složky síly. Ovšem stejně jako u předchozí destičky, řezná složka síly při posuvu $f = 0,5\text{mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 300\text{m/min}$ je hodnota výrazně nižší. (tab. 6.3)



Graf 6.7 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantním posuvu

Při použití této vyměnitelné břitové destičky je zřejmé, že řezná rychlost nemá skoro žádný vliv na řeznou, posuvovou a ani na pasivní složku síly. Z grafu (6.7) je zřejmé, že hodnoty všech tří složek sil se mění nepatrným způsobem. Zatímco u posuvové složky síly jsme podobný výsledek očekávali u řezné složky byla očekávání jiná oproti naměřeným hodnotám. Výjimkou je pasivní složka síly, která se oproti ostatním složkám postupně zvyšovala. Ovšem zvýšení této hodnoty bylo řádově v desítkách, takže pro tento experiment to byly zanedbatelné změny.



Graf 6.8 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantní řezné rychlosti

Na grafu (6.8) jsou vidět průměrné hodnoty řezných složek sil při konstantní řezné rychlosti a měnícím se posuvu. Z grafu lze vyčíst, že posuv má značný vliv na posuvovou složku síly a to tak, že s rostoucím posuvem se nám zvyšovala hodnota posuvové složky síly. Rozdíl hodnoty posuvové složky síly byl cca 610N. Toto zjištění bylo potvrzením našeho teoretického úsudku a to takového, že se zvětšujícím se posuvem nám rostla i hodnota posuvové složky síly. Také pasivní složka síly rostla ze zvyšujícím se posuvem. Řezná složka síly měla také stoupající tendenci, ale při posuvu $f = 0,5\text{mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 300\text{m/min}$, nám tato hodnota řezné složky síly klesla na hodnotu 677N. Přitom když se podíváme na prostřední hodnoty grafu tj. při řezných podmínkách $f = 0,35\text{mm}$ a řezné rychlosti $v_c = 300\text{m/min}$, lze vidět, že hodnota řezné složky síly zde dosahuje maximální hodnoty tj. 1510N.

- **Strukturální rovnice:**

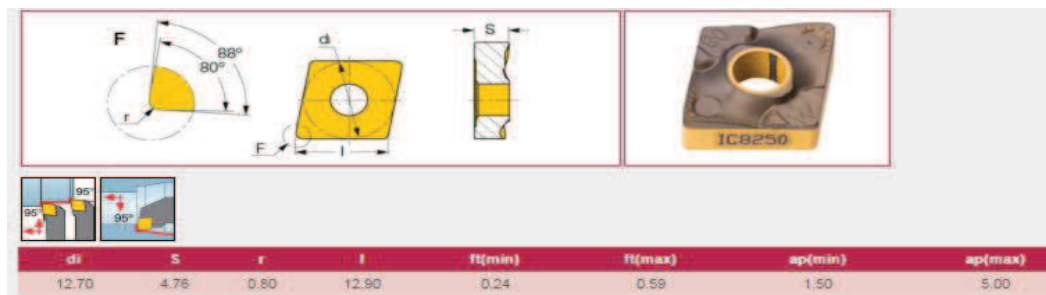
$$F_p = C_{Fp} \cdot f^{y_{Fp}} \cdot v_c^{z_{Fp}} = 799,765 \cdot f^{1,034} \cdot v_c^{0,122} \quad [\text{N}]$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot v_c^{z_{Fc}} = 379,85 \cdot f^{-0,86} \cdot v_c^{0,01} \quad [\text{N}]$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot f^{y_{Ff}} \cdot v_c^{z_{Ff}} = 2426,4 \cdot f^{0,738} \cdot v_c^{0,007} \quad [\text{N}]$$

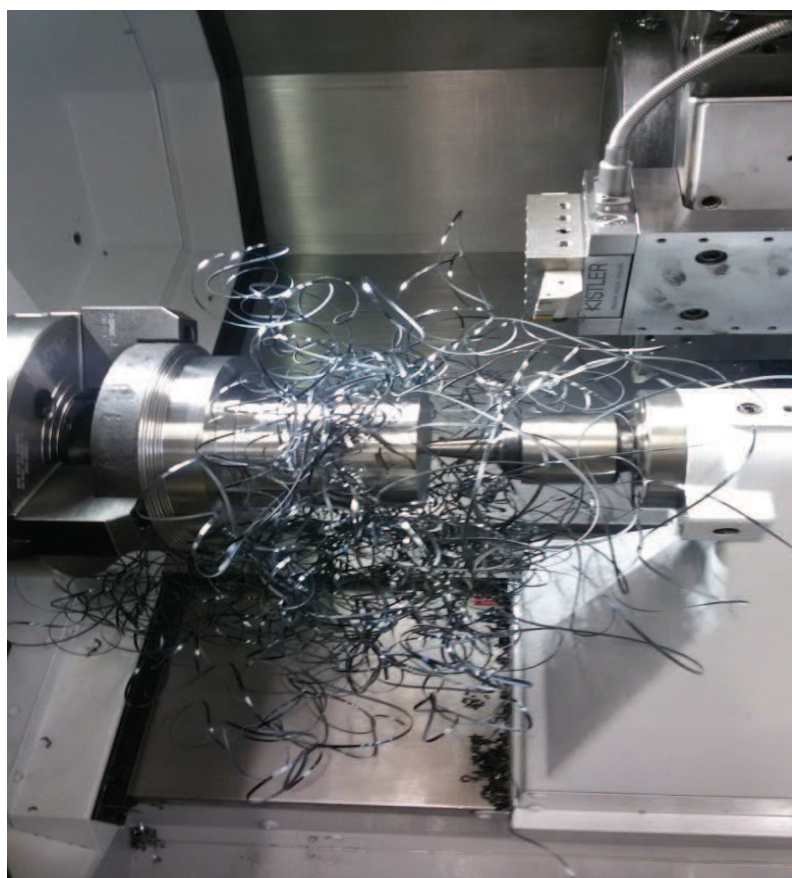
6.2.4 Vyměnitelná břitová destička CNMM 120408-M4PW

Jako poslední pro náš experiment byla použita vyměnitelná břitová destička CNMM 120408-M4PW.



Obr. 6.4 Vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-R3P, s řeznými podmínkami [17]

Při obrábění touthle vyměnitelnou břitovou destičkou (viz. obr. 6.4) se nám během prvních třech měření tvořila neideální tříska, která se neodlamovala, nýbrž se namotávala (viz. obr. 6.5). Což bylo způsobeno zvolenými řeznými podmínkami. Ale po změně těchto podmínek, respektive zvětšením posuvu, jsem již měli ideální odlamovanou třísku (viz. obr. 6.6), s tím také souvisely naměřené hodnoty jednotlivých složek sil, které se při zvětšení posuvu také zvýšily.



Obr. 6.5 Namotaná tříska

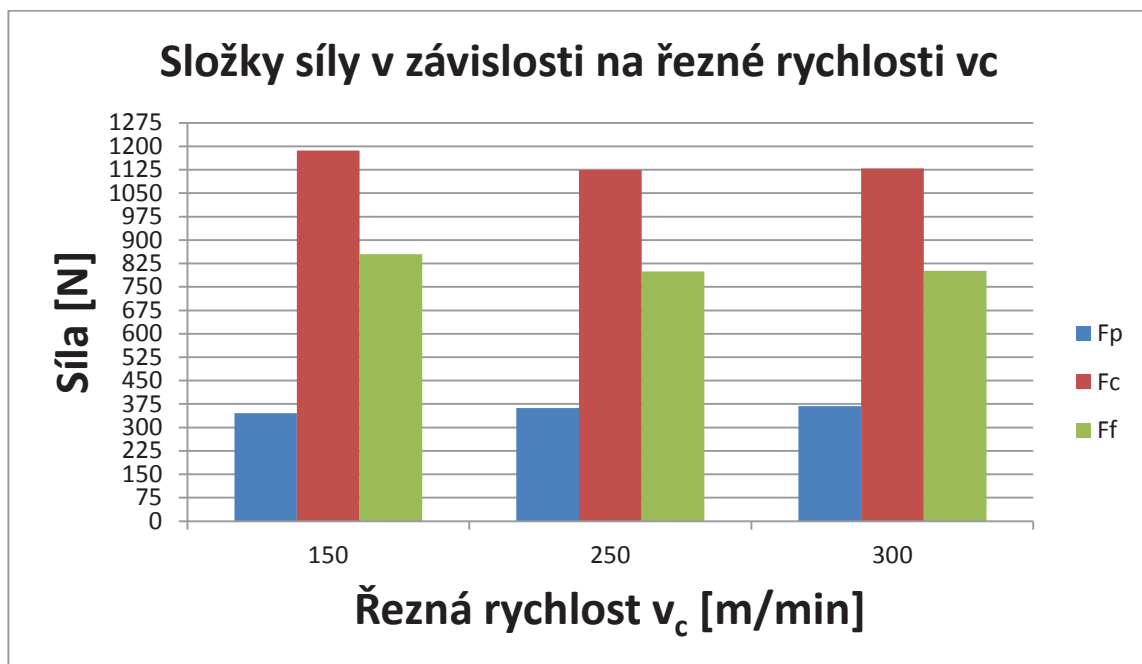


Obr. 6.6 Klasická lámavá tříska

Tab. 6.3

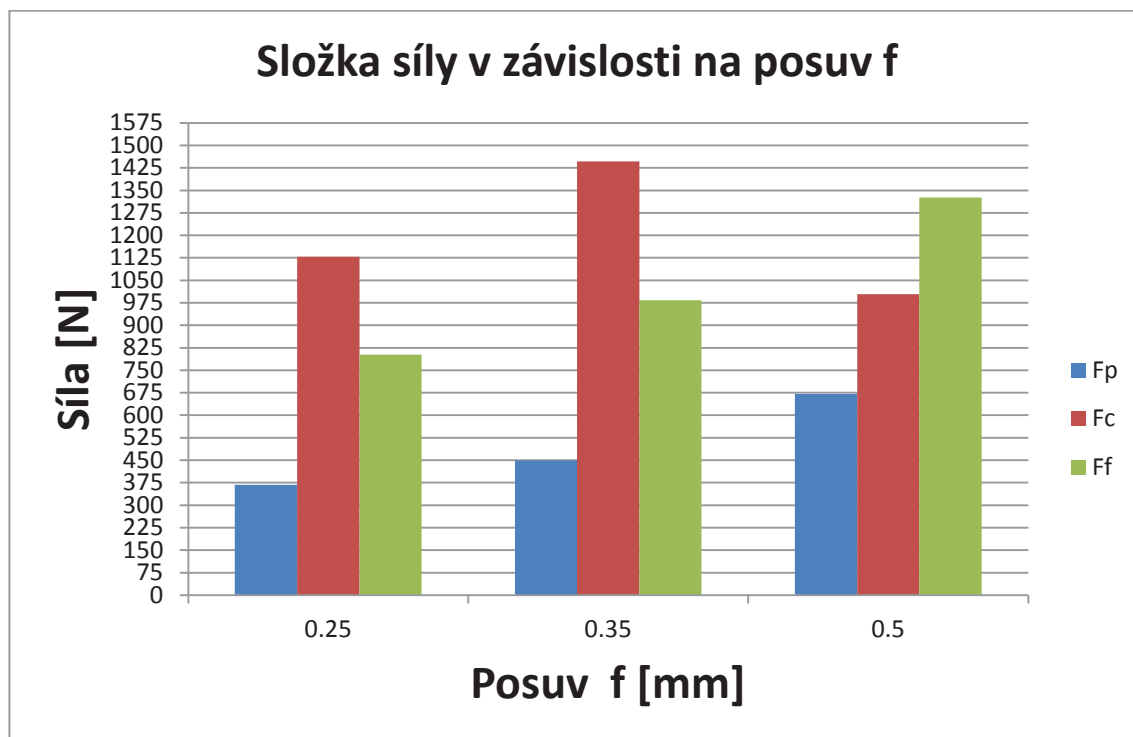
Tabulka použitých řezných parametrů a průměrných hodnot složek sil					
v_c =[m/min]	f =[mm]	a_p =[mm]	F_p [N]	F_c [N]	F_f [N]
150	0,25	2	346	1187	855
250	0,25	2	362	1124	799
300	0,25	2	368	1129	802
300	0,35	2	449	1447	984
300	0,5	2	671	1004	1326

V (tab. 6.3) lze vidět, naměřené hodnoty a použité řezné podmínky pro jednotlivá měření touto vyměnitelnou břitovou destičkou. Při pohledu na tabulku (6.3) lze vidět, za jakých řezných podmínek byla hodnota jednotlivých složek sil nejvyšší a naopak kdy zase nejnižší. Z tabulky je zřejmé, že například řezná složka síly má vyšší hodnotu při řezné rychlosti $v_c = 150\text{m/min}$ než při řezné rychlosti $v_c = 300\text{m/min}$ za použití stejného posuvu $f = 0,25\text{mm}$. Což je pro nás zajímavé zjištění, v tom ohledu, že se zvětšující se rychlostí se nám nezvětšuje řezná složka síly.



Graf 6.9 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantním posuvu

Graf (6.9) ukazuje průběh jednotlivých složek sil při konstantním posuvu a měnící se řezné rychlosti. Pasivní složka síly má se zvyšující se řeznou rychlostí stoupající tendenci, oproti tomu řezná složka síly má nejvyšší hodnotu naměřenou při nejnižší použité řezné rychlosti a poté má hodnotu nepatrně měnící se. Posuvová složka síly má podobný průběh jako řezná složka síly, tj. nejvyšší naměřená hodnota je také při nejnižší použité řezné rychlosti, následující hodnoty při zvýšení řezné rychlosti se mění nepatrným způsobem.



Graf 6.10 Průměrné hodnoty jednotlivých složek sil při konstantní řezné rychlosti

Graf (6.10) znázorňuje průběh naměřených průměrných hodnot jednotlivých složek sil při konstantní řezné rychlosti a měnícímu se posuvu. V tomto grafu lze vidět předpokládaný průběh posuvové složky síly, a to takový, že se zvětšujícím se posuvem nám postupně rostla také posuvová složka síly. Naprosto stejný průběh vykazovala také pasivní složka síly. Jen řezná složka síly vykazovala podobný průběh jako u předešlých destiček, to znamená, že zprvu měla také stoupající tendenci, ale při posledním měření za použití řezných podmínek kdy řezná rychlost byla nastavena na hodnotu $v_c = 300\text{m/min}$ a posuv $f = 0,5\text{mm}$, nám hodnota této složky síly prudce klesla na nejnižší naměřenou hodnotu 1004N.

- **Strukturální rovnice:**

$$F_p = C_{Fp} \cdot f^{y_{Fp}} \cdot v_c^{z_{Fp}} = 729,5 \cdot f^{0,869} \cdot v_c^{0,088} \quad [\text{N}]$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot v_c^{z_{Fc}} = 1470,2 \cdot f^{-0,17} \cdot v_c^{-0,08} \quad [\text{N}]$$

$$F_f = C_{Ff} \cdot f^{y_{Ff}} \cdot v_c^{z_{Ff}} = 3848,65 \cdot f^{0,726} \cdot v_c^{-0,1} \quad [\text{N}]$$

6.3 Zhodnocení experimentu

Z výsledků, kterých bylo dosaženo při jednotlivých měření lze usoudit že, naměřené průběhy jednotlivých složek sil se při použití různých vyměnitelných břitových destiček chovají podobným způsobem. Je třeba podotknout, že během experimentu se měnily řezné podmínky, jen hloubka řezu a_p byla po celou dobu měření nastavena na konstantní hodnotu.

Například hodnota pasivní složky síly se při působení konstantního posuvu f , a měnící se řezné rychlosti v_c mění zanedbatelným způsobem u všech čtyř použitých vyměnitelných břitových destiček. Zato v případě konstantní řezné rychlosti v_c a měnícímu se posuvu f tato hodnota pasivní složky síly měla rostoucí tendenci tzn. nejvyšší naměřená hodnota pasivní složky síly byla za použití vyměnitelné břitové destičky CNMM 120408-R3P při podmínkách kdy řezná rychlost v_c byla nastavena na 300 m/min, a posuv byl zvolen $f = 0,5$ mm. Naopak nejnižší naměřená hodnota této složky síly byla naměřena za použití vyměnitelné břitové destičky CNMG 120408-F3P

Hodnoty řezné složky síly nepotvrzují teoretický úsudek (čím vyšší rychlost, tím vyšší hodnota), například v případě kdy byla použita vyměnitelná břitová destička CNMG 120408-F3P bylo toto tvrzení zcela opačné (viz tab. 6.2), tj. že při stejném posuvu a zvyšující se řezné rychlosti tato hodnota řezné složky síly klesala, což je pro tento experiment zajímavé zjištění. Během tohoto experimentu bylo také zjištěno, že nejnižší hodnota řezné složky síly u všech použitých vyměnitelných břitových destiček byla naměřena za působení stejných řezných podmínek tj. kdy řezná rychlost $v_c = 300$ m/min, a posuv f byl nastaven na hodnotu 0,5 mm. Úplně ta nejnižší a zároveň i ta nejvyšší hodnota byla naměřena při použití vyměnitelné břitové destičky CNMM 120408-R3P. Což dokazuje, že s rostoucí řeznou rychlostí nemusí zákonitě růst také hodnota řezné složky síly. Z těchto výsledků lze usoudit, že na řeznou složku síly má také určitý vliv posuv f .

V případě poslední sledované složky síly, kterou byla posuvová je průběh naměřených hodnot podobný pasivní složce síly. Za působení konstantního posuvu f se hodnoty této sledované složky síly měnily jen nepatrným způsobem. Ale při působení konstantní řezné rychlosti a měnícímu se posuvu, hodnoty této posuvové složky síly rostly se zvětšující se hodnotou posuvu. Tento průběh byl stejný u všech použitých vyměnitelných břitových destiček. To znamená, že nejvyšší naměřená hodnota u všech použitých vyměnitelných břitových destiček byla za působení nevyššího zvoleného posuvu $f = 0,5$ mm a nejvyšší řezné rychlosti $v_c = 300$ m/min. Ta nejvyšší hodnota byla naměřena při použití této vyměnitelné břitové destičky CNMM 120408-R3P. Naopak nejnižší naměřená hodnota této sledované složky síly byla za použití této vyměnitelné břitové destičky CNMG 120408-M3P. Z těchto

naměřených hodnot je zřejmé, že zásadní vliv na průběh posuvové složky síly má zvolená hodnota posuvu f .

7. Závěr

Cílem této diplomové práce, byl vliv utvařeče třísky na silové poměry při obrábění oceli. Při obrábění byly sledovány tyto složky síly: pasivní, řezná a posuvová. Během experimentu byly použity čtyři vyměnitelné břitové destičky s odlišným utvařečem třísky, zakoupeny u firmy ISCAR. Během celého experimentu se měnily řezné podmínky jen hloubka řezu a_p byla po celou dobu experimentu nastavena na konstantní hodnotu.

Celý tento experiment byl proveden na stroji DMG MoriSeiki NLX 2500/700 (obr. 5.1) v laboratorních prostorách VŠB-TUO. Vyměnitelné břitové destičky se postupně měnily v nožovém držáku DCLNR 2525M-12 s úhlem nastavení $\kappa_r = 95^\circ$ (obr. 5.4). Byly to vyměnitelné břitové destičky s těmito utvařeči třísky: CNMG 120408-M3P, CNMG 120408-F3P, CNMM 120408-R3P, CNMM 120408-M4PW. Na tento experiment byl použit materiál ČSN 12050, je to uhlíková ocel k zušlechťování a povrchovému kalení. Pro měření jednotlivých složek sil a následným zápisem těchto hodnot do počítače, byl nainstalován dynamometr zakoupený u firmy Kistler (obr. 5.2) k tomuto dynamometru je přiložen program na zpracovávání naměřených hodnot. Tento dynamometr byl nainstalován přímo na stroj (obr. 5.3) a následně propojen s počítačem. Naměřené hodnoty jednotlivých složek sil byly uloženy do počítače a následně z těchto hodnot vytvořeny v programu Microsoft Excel, grafy průměrných hodnot jednotlivých složek sil při konstantní řezné rychlosti a při konstantním posuvu. Poté byly vytvořeny grafy vlivu posuvu a řezné rychlosti na jednotlivou složku síly v logaritmickém grafu, aby bylo možné stanovit konstanty C_1 , C_2 a exponenty y_F , z_F . Když byly tyto grafy vytvořeny a stanoveny příslušné konstanty a exponenty, mohly být spočteny strukturální rovnice jednotlivých složek sil pro každou použitou vyměnitelnou břitovou destičku. Z těchto rovnic lze vyčíst, že na každou ze sledovaných složek sil má určitý vliv změna řezných podmínek.

Z těchto dosažených výsledků se dá usuzovat, že na každý z těchto použitých utvařečů působí řezné podmínky podobným způsobem. To znamená, že při změně posuvu se jednotlivé měřené složky sil u všech použitých utvařečů chovají stejným způsobem a to takový může posuvová složka roste se zvětšujícím se posuvem, stejný průběh byl, zaznamenám i u pasivní složky a u řezné složky je vidět také stejný průběh nejprve nárůst a poté prudký pokles naměřené hodnoty. Naopak při změně řezné rychlosti kdy se očekávalo, že největší rozdílové hodnoty budou zaznamenávány u řezné složky síly, tak se tato hodnota měnila jen nepatrným způsobem u všech použitých vyměnitelných břitových destičkách s různými utvařeči třísky. Ostatní sledované složky sil se chovaly podobným způsobem, kdy se jejich hodnoty měnili

jen nepatrným a pro nás zanedbatelným způsobem. Z těchto poznatků lze usoudit, že při použití jakéhokoliv utvařeče třísky má na měření jednotlivých složek sil, posuv daleko větší vliv než řezná rychlost. Tyto výsledky jsou nejlépe vidět v kapitole 6. Vyhodnocení a zpracování experimentu a v následných grafech(6.1 – 6.10).

Použitá literatura :

- [1] BRYCHTA, J., ČEP, R., SADÍLEK, M., PETŘKOVSKÁ, L., NOVÁKOVÁ, J., Nové směry v progresivním obrábění, Ediční středisko VŠB – TU Ostrava, 2007, ISBN 978-80-248-1505-3
- [2] *Kistler.com: KistlerSensors to Measure Forces* [online]. 2014 [cit. 2016-01-25]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/cz/en/products/components/force-sensors/>
- [3] Příručka pro technology - Jak je to s řeznými silami? *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2016-01-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-je-to-s-reznymi-silami.html>
- [4] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie výroby II: Řešené příklady*. Brno, 2002. Vysoké učení technické v Brně.
- [5] NESLUŠAN, M.: Sústružení kalených ocelí, Edis Žilina 2009, ISBN 978-80-554- 104-1
- [6] STRAKA, Jakub. *Optimalizace řezných podmínek při soustružení kalené oceli*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže. Vedoucí práce Doc. Ing. Vrba Vladimír, CSc.
- [7] BILÍK, O., Obrábění I, 1. Ostrava, VŠB – TU Ostrava, 2001, 136s, ISBN 80 – 7078 – 811 – 9
- [8] Robert Čep: *Přednášky z předmětu Strojírenská technologie II.*, Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_1dil.pdf
- [9] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů*. 2. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2008. ISBN 978 – 80 – 248 – 1053 – 9.
- [10] CHLADIL, Josef a Erich MOUKA. *Teorie obrábění*. 3., přeprac. vyd. Brno: VUT, 1989, 193 s. Učební texty vys. škol. ISBN 80-214-1008-6.
- [11] MÁDL, Jan a kol., *Technologie obrábění a montáže – návody ke cvičení*, Praha – ČVUT, 1990, 86s.
- [12] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330 s. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [13] *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. čes. vyd. Praha: Scientia, 1997, 1 svazek v různém stránkování. ISBN 91-972299-4-6.
- [14] *SandvikCoromant: Stopkové nástroje T-Max® P pro soustružení* [online]. [cit. 2016-02-19]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/Pages/productdetails.aspx?c=dclnr+2525m+12&Country=cz>
- [15] *DMG MORI: Technické údaje NLX 2500* [online]. [cit. 2016-02-19]. Dostupné z: <http://us.dmgmori.com/products/lathes/universal-lathes/nlx/nlx2500+700#Technic>
- [16] JKZ.cz. *KONSTRUKČNÍ OCEL ČSN 12 050* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <http://www.jkz.cz/node/219>
- [17] *Iscar.com.Iscareletroniccatalog* [online]. [cit. 2016-04-06]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog>

- [18] TICHÝ, Vojtěch. *ANALÝZA TVORBY TŘÍSKY POMOCÍ DIGITÁLNÍ VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMERY*. Brno, 2015. Diplomová práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

Seznam příloh :

Příloha č.1 – je v elektronické verzi na přiloženém CD.